



TUGAS AKHIR - TL 141584

**STUDI EFEKTIFITAS EKSTRAK DAUN ASAM JAWA DAN
EKSTRAK KULIT MELINJO SEBAGAI INHIBITOR ORGANIK
PADA BAJA API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN NaCl 3,5 %
pH 5**

Hastya Anisa Rufaida
NRP. 2712 100 111

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**

(halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR - TL 141584

**STUDI EFEKTIFITAS EKSTRAK DAUN ASAM JAWA DAN
EKSTRAK KULIT MELINJO SEBAGAI INHIBITOR ORGANIK
PADA BAJA API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN NaCl 3,5 %
pH 5**

Hastya Anisa Rufaida
NRP. 2712 100 111

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**



FINAL PROJECT - TL 141584

**STUDY OF EFFECTIVITY OF TAMARINDUS INDICA LEAVES
EXTRACT AND GNETUM GNEMON PEELS EXTRACT AS
ORGANIC INHIBITOR ON API 5L GRADE B STEEL IN NaCl
3,5 % pH 5 ENVIRONMENT**

Hastya Anisa Rufaida
NRP. 2712 100 111

Advisor
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

**Departement of Material and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016**

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI EFEKTIFITAS EKSTRAK DAUN ASAM
JAWA DAN EKSTRAK KULIT MELINJO SEBAGAI
INHIBITOR ORGANIK PADA BAJA API 5L GRADE
B DI LINGKUNGAN NaCl 3,5 % pH 5**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Material dan Metalurgi pada Bidang Korosi
dan Analisa Kegagalan Material Jurusan Teknik Material dan
Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh
Nopember

Oleh :

Hastya Anisa Rufaida

NRP. 2712 100 111

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA Pembimbing I
2. Budi Agung Kurniawan, S.T., M. Sc Pembimbing II





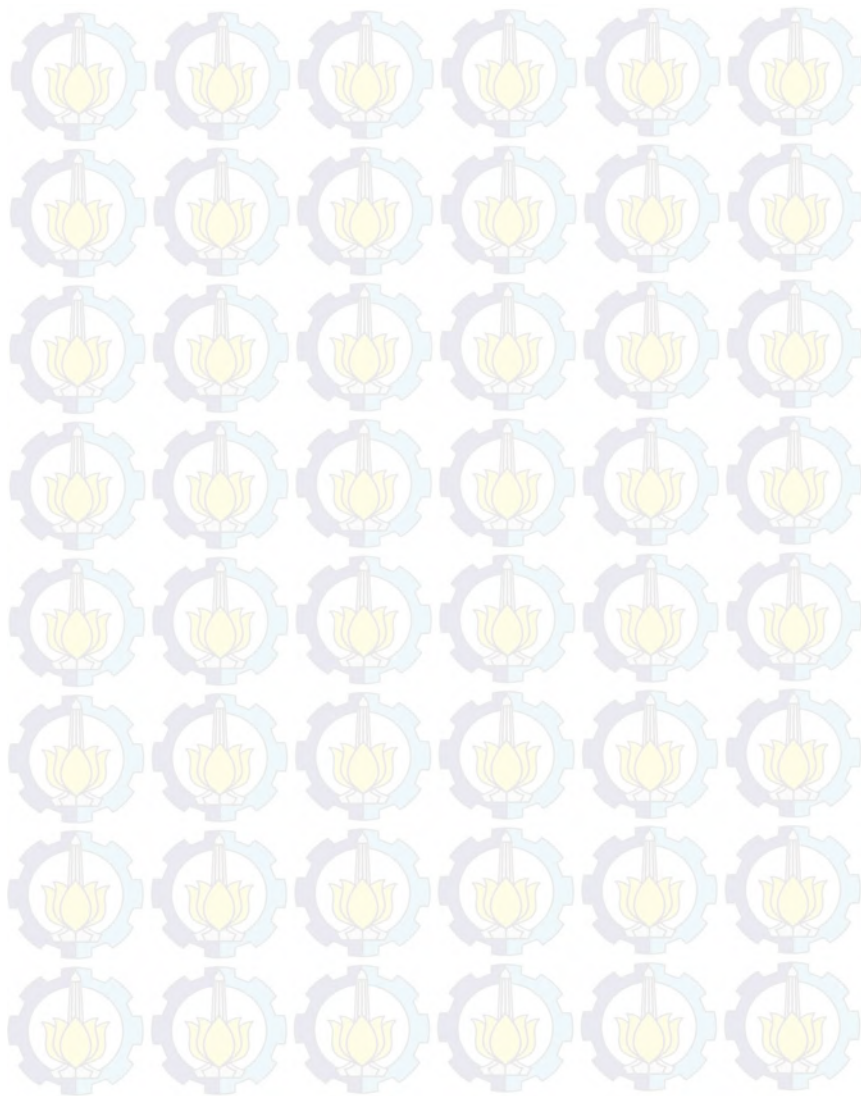
**STUDI EFEKTIFITAS EKSTRAK DAUN ASAM
JAWA DAN EKSTRAK KULIT MELINJO SEBAGAI
INHIBITOR ORGANIK PADA BAJA API 5L GRADE
B DI LINGKUNGAN NaCl 3,5 % pH 5**

Nama : Hastya Anisa Rufaida
NRP : 2712 100 111
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi, ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Co-Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

Abstrak

Jenis baja karbon yang sering digunakan dalam industri minyak dan gas adalah baja API 5L. Permasalahan yang umum terjadi pada industri migas salah satunya adalah korosi. Upaya untuk mencegah korosi pada pipa dalam industri migas adalah dengan menambahkan inhibitor. Daun Asam Jawa dan Kulit Melinjo merupakan bahan organik yang dapat digunakan sebagai inhibitor organik. Dalam penelitian ini diaplikasikan pada baja API 5L Grade B di lingkungan NaCl 3,5% pH 5. Variasi konsentrasi dari inhibitor daun asam jawa dan kulit melinjo adalah 0, 100, 150, 200, 250, 300 mg/L. Untuk menganalisa pengaruh penambahan dari kedua inhibitor tersebut maka dilakukan serangkaian pengujian. Uji spectrometer untuk mengetahui komposisi kimia baja, uji Uv-Vis untuk mengetahui total kandungan inhibitor, uji FTIR, uji weight loss, Tafel polarisasi, dan EIS. Dari hasil uji weight loss diperoleh laju korosi terendah pada penambahan inhibitor daun asam jawa dan kulit melinjo masing-masing sebesar 2,58 mpy pada perendaman 14 hari dengan konsentrasi 300 mg/L dan 3,61 mpy pada perendaman 7 hari dengan konsentrasi 300 mg/L. Efisiensi inhibisi tertinggi diperoleh ketika penambahan inhibitor daun asam jawa dan kulit melinjo sebanyak 300 mg/L. Mekanisme inhibisi inhibitor daun asam jawa dan kulit melinjo cenderung bersifat fisisorpsi berdasarkan hasil perhitungan adsorpsi isotherm Langmuir.

Kata Kunci : Inhibitor, Daun Asam Jawa, Kulit Melinjo, Baja API 5L Grade B



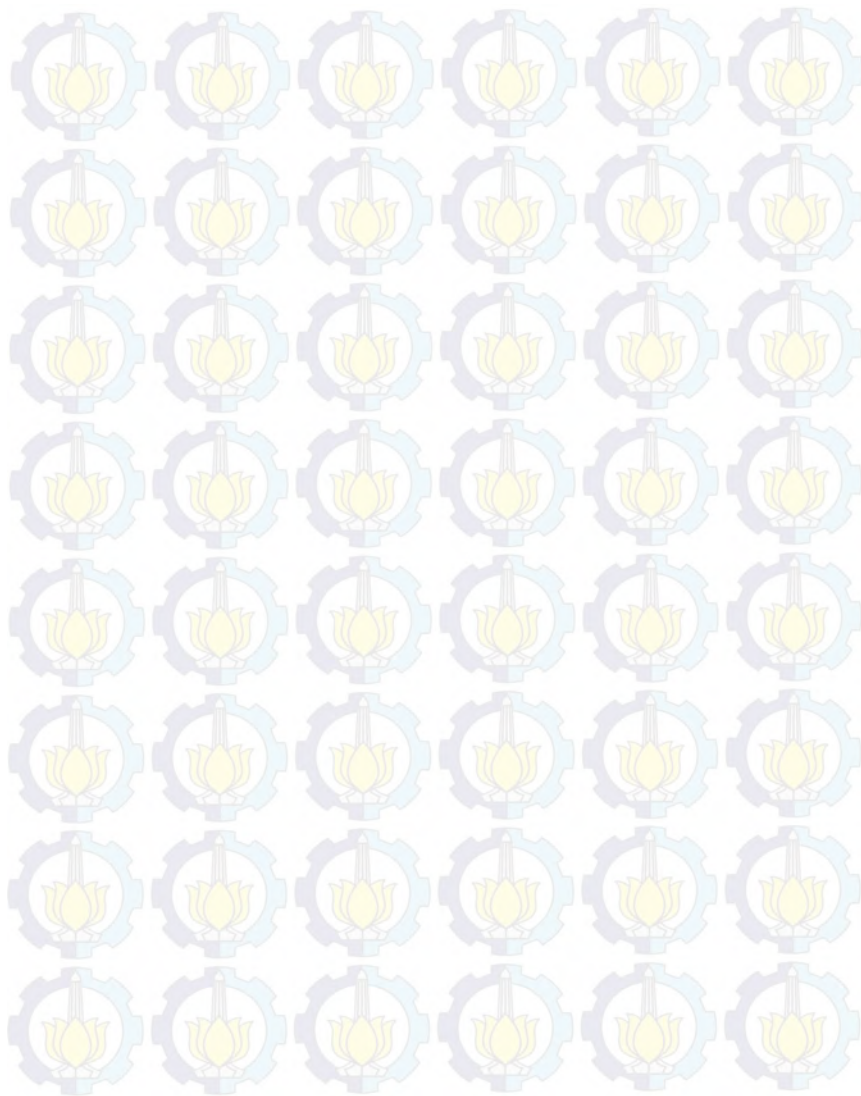
STUDY OF EFFECTIVITY OF TAMARINDUS INDICA LEAVES EXTRACT AND GNETUM GNEMON PEELS EXTRACT AS ORGANIC INHIBITOR ON API 5L GRADE B STEEL IN NaCl 3,5 % pH 5 ENVIRONMENT

Name : Hastya Anisa Rufaida
NRP : 2712 100 111
Department : Materials and Metallurgical Engineering, ITS
Advisor : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Co-Advisor : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

Abstract

Type of carbon steel that often used in the oil and gas industry is API 5L steel. Problems that are common happens in the oil and gas industry is corrosion. The efforts are made to prevent corrosion in oil and gas industry is with the addition of inhibitor. Tamarindus Indica leaves and Gnetum Gnemon peels is organic materials which can be used as organic inhibitor. In this research API 5L grade B steel was applied in 3.5% NaCl pH 5. Various concentration of Tamarindus Indica leaves and Gnetum Gnemon peels is 0, 100, 150, 200, 250, and 300 mg/L. To analyze the effect of the addition from both materials then few tests was set. Spectrometry test to analyze the chemical composition of steel, Uv-Vis test to analyze total composition of inhibitor, FTIR test, weight loss test, tafel polarization, and EIS. The result from weight loss test was corrosion rate number each addition of inhibitor are 2,58 mpy for the immerse of 14 days and addition concentration 300 mg/L and 3,61 mpy for the immerse of 7 days and addition concentration 300 mg/L. The highest efficiency was obtained when the addition of 300 mg/L Tamarindus Indica leaves and Gnetum Gnemon peels. Inhibition mechanism of Tamarindus Indica leaves and Gnetum Gnemon peels tend to physisorption reaction based on calculation of adsorption isotherm Langmuir

Keywords : *Inhibitor, Tamarindus Indica Leaves, Gnetum Gneumon peels, API 5L Grade B steel*



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul **STUDI EFEKTIFITAS EKSTRAK DAUN ASAM JAWA DAN EKSTRAK KULIT MELINJO SEBAGAI INHIBITOR ORGANIK PADA BAJA API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN NaCl 3,5 % pH 5**. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan kerja praktik ini dapat diselesaikan berikut:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan kerja praktik ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Ayah dan Ibu, Bapak Sigit Setyawan dan Ibu Happy Nugraheni serta Mas dan Mbak, Hastya Alfian Rahman dan Hastya Afinia Rusyda yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih motivasi dan inspirasi.
3. Dr. Agung Purniawan, ST., M. Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
4. Dr. Lukman Noerochiem, S.T., M.Sc. selaku Kepala Program Studi S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
5. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir penulis.
6. Budi Agung Kurniawan, S.T., M. Sc. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir Penulis
7. Seluruh dosen Teknik Material dan Metalurgi yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.

8. Teman-teman seperjuangan pembimbingan, Indah Amalia, Adi Nugraha, Gabriell Asprilla H., Nur Aini, Yoshua Kusuma P., Eka Amilia R.
9. Sahabat penulis, Iftitahul Fariha Yuliarti, Widia Anggia Vicky, Vini Nur Rahmawati, Dayu Sarifah, Indah Amalia yang selalu bersedia menjadi tempat curhat dan selalu memberi saran pada masalah yang dihadapi penulis.
10. Geng Gong ☺ sahabat rasa keluarga, semoga persahabatan kita selamanya.
11. Seluruh penghuni Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan serta Laboratorium Inovasi Material yang selalu menemani penulis dalam mengerjakan laporan tugas akhir.
12. Keluarga Besar MT 14 dan Bebski-Bebski MT 14 yang tercinta, yang selalu memberikan kebahagiaan selama penulis berada di kampus Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
13. Semua pihak yang selalu menyelipkan nama penulis di setiap doanya demi kebaikan bagi penulis ☺
14. Seluruh anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS yang memberikan banyak pengalaman selama penulis berada di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
15. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terima kasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sumur Minyak Bumi	5
2.1.1 Tempat-tempat Terjadinya Korosi pada Produksi Minyak	6
2.2 Baja API 5L	7
2.3 Korosi.....	9
2.4 Laju Korosi	11
2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi	12
2.5.1 Temperatur	12
2.5.2 Faktor pH	12
2.3.3 Gas Terlarut.....	14
2.6 Korosi pada Baja Karbon Rendah	15
2.7 Korosi pada Media Air Laut.....	16
2.8 Jenis-Jenis Perlindungan Korosi.....	18
2.9 Inhibitor.....	19
2.9.1 Mekanisme Kerja Inhibitor.....	19
2.9.2 Klasifikasi Inhibitor.....	20
2.10 Penentuan Efisiensi Inhibisi	30
2.11 Pengujian Weight Loss.....	31
2.12 Perhitungan Adsorpsi Isothermal	31

2.13 Pengujian FTIR	32
2.14 Pengujian Tafel Polarisasi	36
2.15 Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	39
2.16 Hasil Penelitian Sebelumnya	40
2.16.1 Daun Asam Jawa.....	40
2.16.2 Kulit Melinjo.....	41

BAB III METODOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir	45
3.2 Metode Penelitian.....	46
3.3 Alat Penelitian	46
3.4 Bahan Penelitian.....	47
3.5 Prosedur Penelitian.....	48
3.5.1 Preparasi Baja.....	48
3.5.2 Preparasi Inhibitor	48
3.5.3 Preparasi Larutan Elektrolit.....	49
3.6 Pengujian.....	50
3.6.1 Pengujian Spektro Baja API 5L grade B	50
3.6.2 Pengujian Spektrophotometri UV-Vis.....	50
3.6.3 Pengujian <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	52
3.6.4 Pengujian <i>Weight Loss</i>	53
3.6.5 Pengujian Polarisasi Tafel	55
3.6.6 Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	56
3.7 Rancangan Tabel Pengambilan Data Penelitian	56

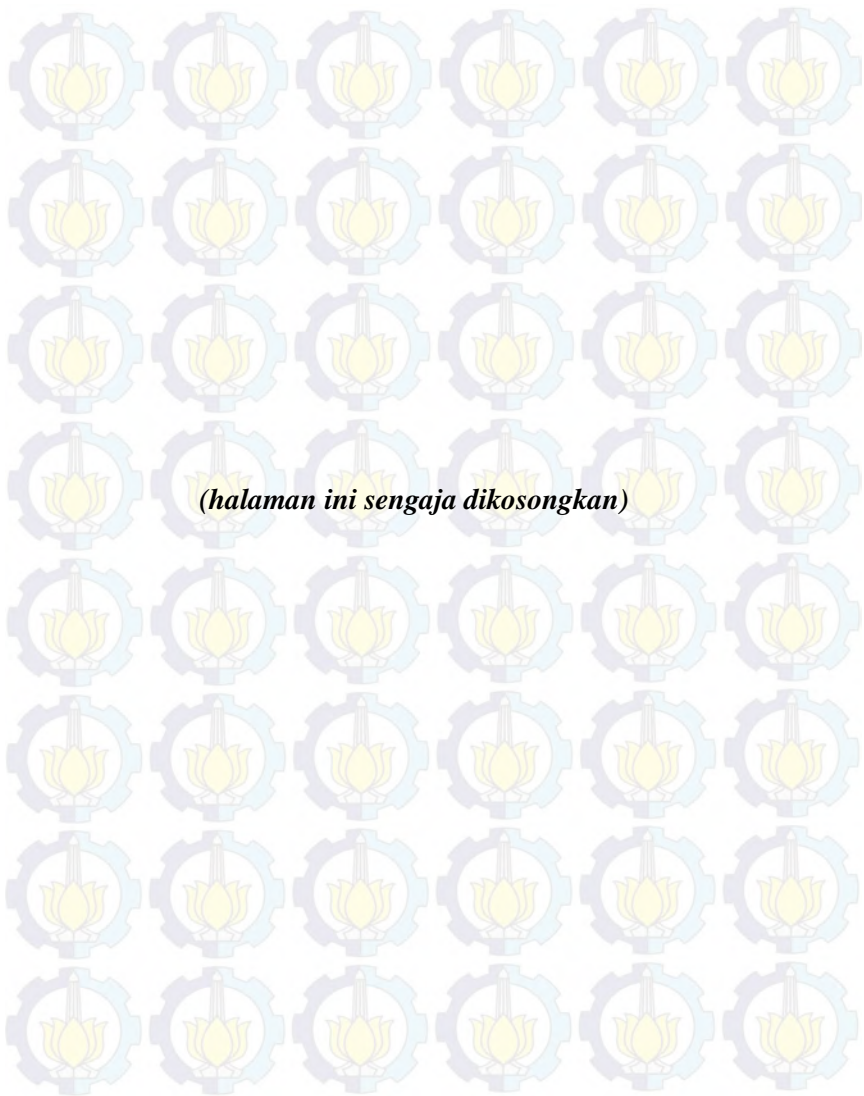
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian	61
4.1.1 Hasil Pengujian Spektro Baja API 5L Grade B	61
4.1.2 Hasil Pengujian Spektrophotometri UV-Vis.....	62
4.1.3 Hasil Pengujian FTIR	65
4.1.4 Hasil Pengujian <i>Weight Loss</i>	76
4.1.5 Hasil PengujianTafel	81
4.1.6 Hasil Pengujian EIS.....	83
4.1.7 Perhitungan Adsorpsi Isothermal	85
4.1.8 Hasil Pengamatan Secara Visual	88
4.2 Pembahasan	89

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran	93

DAFTAR PUSTAKA LAMPIRAN

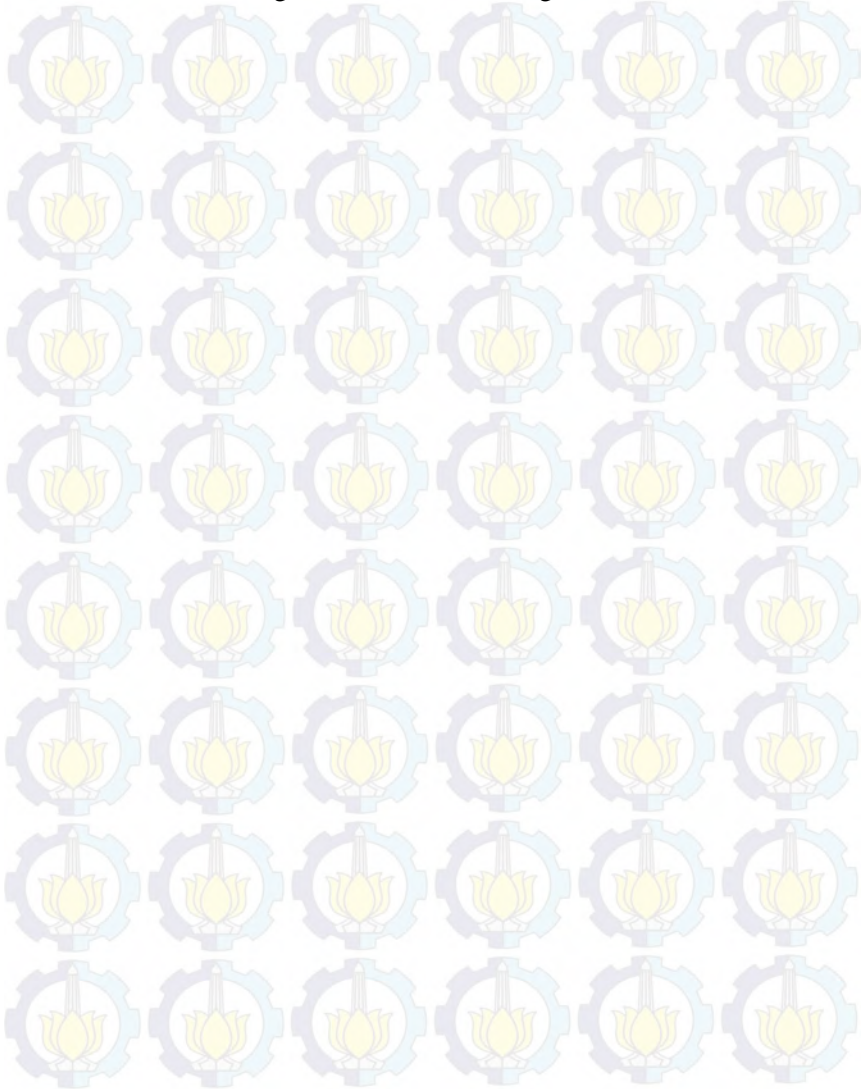


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	API 5L grade B carbon steel pipe.....	8
Gambar 2.2	Korosi Diagram Porbaix Fe pada 25°C.....	13
Gambar 2.3	Pengaruh kelarutan oksigen terhadap laju korosi.....	14
Gambar 2.4	Hubungan konsentrasi oksigen terlarut terhadap Temperatur.....	15
Gambar 2.5	Diagram Polarisasi Potensiostat: Perilaku Elektrokimia Logam dalam Larutan yang mengandung Inhibitor Katodik dan Anodic (a) perbandingan larutan yang sama tanpa inhibitor (b)	23
Gambar 2.6	Ilustrasi Mekanisme <i>Green Inhibitor</i> , berperan melalui Adsorpsi Inhibitor diatas Permukaan Logam, dimana “Inh” menunjukkan molekul inhibitor.....	23
Gambar 2.7	Kerangka C ₆ -C ₃ -C ₆ Flavonoid	28
Gambar 2.8	Struktur kimia fenol (a) dan polifenol (b).....	28
Gambar 2.9	Struktur kimia tanin.....	30
Gambar 2.10	Skema Alat Spektrofotometer.....	33
Gambar 2.11	Sistem Optik Interferometer Michelson pada Spektrofotometer FTIR	34
Gambar 2.12	Skema Kurva Polarisasi yang Menunjukkan Ekstrapolasi Tafel.....	37
Gambar 2.13	Prinsip Kerja Potensiostat.....	38
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	45
Gambar 3.2	Spesimen Baja API 5L grade B	48
Gambar 3.3	Alat Pengujian FTIR.....	53
Gambar 3.4	Pengujian <i>Weight Loss</i>	54
Gambar 4.1	Overlaid Spectra pada Inhibitor Daun Asam Jawa dan Inhibitor Kulit Melinjo.....	62
Gambar 4.2	Overlaid Spectra pada Inhibitor Daun Asam Jawa.....	64
Gambar 4.3	Spektrum FTIR Ekstra Daun Asam Jawa	65
Gambar 4.4	Gugus Fungsi Senyawa Tannin	66

Gambar 4.5	Spektrum FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Asam Jawa 300 mg/L.....	68
Gambar 4.6	Gabungan Spektrum FTIR Inhibitor Daun Asam Jawa dan Baja API 5L Grade B.....	70
Gambar 4.7	Spektrum FTIR Ekstrak Kulit Melinjo	72
Gambar 4.8	Spektrum FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Kulit Melinjo 300 mg/L.....	73
Gambar 4.9	Spektrum FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Kulit Melinjo 300 mg/L.....	75
Gambar 4.10	Grafik Laju Korosi Inhibitor Daun Asam Jawa terhadap Baja API 5L Grade B dengan Pengaruh Variasi Konsentrasi.....	76
Gambar 4.11	Grafik Efisiensi Inhibisi Inhibitor Daun Asam Jawa terhadap Baja API 5L Grade B dengan Pengaruh Variasi Konsentrasi.....	77
Gambar 4.12	Grafik Laju Korosi Inhibitor Kulit Melinjo terhadap Baja API 5L Grade B dengan Pengaruh Variasi Konsentrasi.....	79
Gambar 4.13	Grafik Efisiensi Inhibisi Inhibitor Kulit Melinjo terhadap Baja API 5L Grade B dengan Pengaruh Variasi Konsentrasi	79
Gambar 4.14	Perbandingan Kurva Tafel antara Tanpa Inhibitor, Inhibitor Daun Asam Jawa 300 mg/L dan Inhibitor Kulit Melinjo 300 mg/L.....	81
Gambar 4.15	Kurva Nyquist untuk Sampel Non Inhibitor dengan Inhibitor Daun Asam Jawa 300 mg/L, dan Non inhibitor dengan Inhibitor Kulit Melinjo 300 mg/L.....	83
Gambar 4.16	Model Rangkaian Sirkuit Ekuivalen untuk Sampel di lingkungan NaCl 3,5% pH 5 (a) Non Inhibitor, (b) Inhibitor Daun Asam Jawa 300 mg/L, (c) Inhibitor Kulit Melinjo 300 mg/L.....	84
Gambar 4.17	Permukaan Spesimen Baja API 5L grade B a) awal b) setelah pencelupan inhibitor daun	

asam jawa dengan konsentrasi 300 mg/L dan
c) setelah pencelupan inhibitor kulit melinjo
dengan konsentrasi 300 mg/L..... 88

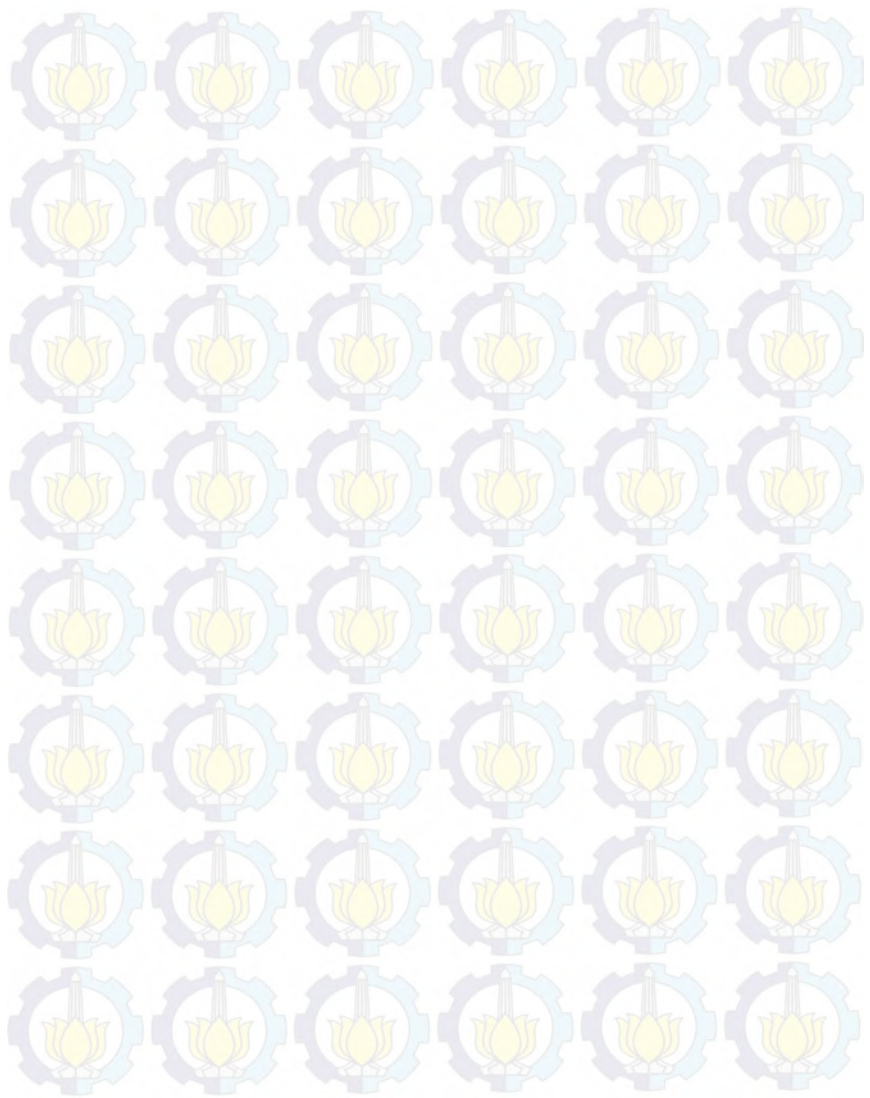




DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Yield Strength dan Mechanical Strength berbagai Macam Baja API 5L	8
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Pipa API 5L Grade B	9
Tabel 2.3 Konstanta Laju Korosi	11
Tabel 2.4 Unsur Pokok dalam Media Air Laut	16
Tabel 2.5 Perbedaan Fisisorpsi dan kemisorpsi	26
Tabel 2.6 Kandungan yang Terdapat pada Daun Asam Jawa.	41
Tabel 2.7 Kandungan yang Terdapat pada Kulit Melinjo	42
 Tabel 3.1 Komposisi Kimia API 5L Grade B	47
Tabel 3.2 Uji Korosi dengan Metode Tafel	55
Tabel 3.3 Tabel Pengujian <i>Weight Loss</i>	57
Tabel 3.4 Tabel Pengujian Tafel	59
Tabel 3.5 Tabel Pengujian EIS	59
 Tabel 4.1 Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B	61
Tabel 4.2 Total Flavonoid pada Inhibitor	63
Tabel 4.3 Total Tannin pada Inhibitor Daun Asam Jawa	64
Tabel 4.4 Hasil FTIR Ekstrak Daun Asam Jawa	66
Tabel 4.5 Hasil FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Asam Jawa 300 mg/L	68
Tabel 4.6 Perbandingan Hasil FTIR Baja API 5L Grade B pada Penambahan Inhibitor Daun Asam Jawa	71
Tabel 4.7 Hasil FTIR Ekstrak Kulit Melinjo	72
Tabel 4.8 Hasil FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Kulit Melinjo 300 mg/L	74
Tabel 4.9 Perbandingan Hasil FTIR Baja API 5L Grade B pada Penambahan Inhibitor Kulit Melinjo	75
Tabel 4.10 Tabel Analisa Tafel dengan Tanpa Inhibitor dan Penambahan Inhibitor	82
Tabel 4.11 Parameter <i>Elektrokimia dari Fit and Simulation</i>	84
Tabel 4.12 Derajat Surface Coverage pada baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Asam Jawa dan Kulit Melinjo	85

Tabel 4.13 Energi Bebas Adsorpsi pada Penambahan
Inhibitor Daun Asam Jawa dan Kulit Melinjo 87





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era saat ini, baja memegang peranan penting dalam industri minyak dan gas. Pemanfaatan baja untuk keperluan industri disesuaikan dengan sifat yang dimiliki baja itu sendiri. Salah satu jenis baja yang digunakan dalam industri minyak dan gas adalah baja API 5L. Dalam penggunaannya baja API 5L digunakan pada sistem perpipaan dalam industri migas. Permasalahan yang sering timbul akibat adanya kontak antara baja dengan lingkungannya adalah korosi. Korosi merupakan proses penurunan kemampuan suatu material (degradasi material) yang diakibatkan oleh reaksi kimia dengan material lain dan lingkungan (Jones, 2002).

Korosi tidak dapat dihilangkan, namun dapat dikendalikan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengendalikan korosi adalah dengan menambahkan senyawa proteksi korosi atau yang disebut dengan inhibitor. Inhibitor akan bekerja sebagai penghambat korosi melalui cara pembentukan lapisan tipis dan membentuk lapisan pasif yang dapat melindungi logam. Inhibitor korosi adalah zat yang ketika ditambahkan dalam konsentrasi kecil untuk lingkungan efektif mengurangi laju korosi logam tersebut.

Green inhibitor merupakan inhibitor yang berasal dari bahan alami seperti ekstrak sayur, dedaunan dan buah. Daun asam jawa (*Tamarindus Indica*) dan kulit melinjo (*Gnetum Gnemon*) dapat dimanfaatkan sebagai inhibitor alami. Beberapa penelitian ilmiah menyebutkan bahwa daun asam jawa mengandung senyawa flavonoid, tanin, glikosa, dan saponin (Abdul Mun'in, dkk, 2009). Sedangkan kulit melinjo mengandung senyawa flavonoid, saponin, polifenol, dan alkaloid (Sri Wulandari, dkk, 2012). Senyawa flavonoid dan tanin merupakan senyawa yang mengandung gugus *phenol* yang merupakan senyawa antioksidan. Senyawa ini termasuk jenis antioksidan karena dapat menghambat serangan dari radikal bebas.



Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan ekstrak daun asam jawa (*Tamarindus Indica*) dan kulit melinjo (*Gnetum Gnemon*) sebagai green inhibitor atau inhibitor organik yang digunakan pada baja API 5L grade B yang banyak digunakan dalam industri minyak dan gas, dengan media NaCl 3,5% pH 5 dengan variasi konsentrasi 0, 100, 150, 200, 250 dan 300 mg/L.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak daun asam jawa dan ekstrak kulit melinjo terhadap laju korosi baja API 5L grade B dalam media NaCl 3,5% pH 5.
2. Bagaimana mekanisme inhibisi inhibitor ekstrak daun asam jawa dan ekstrak kulit melinjo pada baja API 5L grade B dalam media NaCl 3,5% pH 5.

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian, ditetapkan batasan-batasan dari penelitian yang dilakukan, antara lain:

1. Material yang digunakan dianggap homogen dan bebas cacat.
2. Kehalusan dari permukaan tiap-tiap spesimen dianggap homogen.
3. Diasumsikan tidak terjadi perubahan pH dan temperature sepanjang waktu.
4. Komposisi lain yang terkandung dalam ekstrak daun asam jawa dan ekstrak kulit melinjo diasumsikan tidak berpengaruh.
5. Daun asam jawa dan kulit melinjo yang digunakan diasumsikan homogen.



1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mempelajari efektifitas inhibitor ekstrak daun asam jawa dan ekstrak kulit melinjo pada baja API 5L grade B dalam media NaCl 3,5% pH 5 dengan variasi konsentrasi.
2. Menganalisa mekanisme inhibisi dari antioksidan pada inhibitor ekstrak daun asam jawa dan ekstrak kulit melinjo.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mempelajari korosi yang biasa terjadi pada pipa *oil* dan *gas*.
2. Mengoptimalkan penggunaan daun asam jawa dan kulit melinjo yang selama ini hanya dimanfaatkan sebagai bahan makanan pada inhibitor sehingga dapat memperlambat laju korosi.



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sumur Minyak Bumi

Minyak bumi adalah suatu senyawa hidrokarbon yang terdiri dari karbon (83-87%), hidrogen (11-14%), nitrogen (0,2-0,5%), sulfur (0-6%), dan oksigen (0-3,5%). Proses produksi minyak dari formasi tersebut mempunyai kandungan air yang sangat besar, bahkan bisa mencapai kadar lebih dari 90%. Selain air, juga terdapat komponen-komponen lain berupa pasir, garam-garam mineral, aspal, gas CO_2 dan H_2S . Komponen-komponen yang terbawa bersama minyak ini menimbulkan permasalahan tersendiri pada proses produksi minyak bumi. Air yang terdapat dalam jumlah besar sebagian dapat menimbulkan emulsi dengan minyak akibat adanya emulsifying agent dan pengadukan. Selain itu hal yang tak kalah penting ialah adanya gas CO_2 dan H_2S yang dapat menyebabkan korosi dan dapat mengakibatkan kerusakan pada *casing*, *tubing*, sistem perpipaan dan *surface facilities*. (Halimatuddahlina, 2003)

Pada pertambangan minyak bumi, minyak mentah yang dihasilkan mengandung garam-garam klorida, sulfat dan karbonat; asam-asam organik dengan massa molekul rendah; dan gas yang bersifat asam, seperti CO_2 dan H_2S . Berdasarkan data lapangan, kondisi dalam sumur produksi minyak bumi yaitu temperatur berkisar antara 330 K – 380 K; pH media; 3,5-5,5; tekanan $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ antara 0,04 atm – 0,10 atm; dan konsentrasi ion-ion Cl^- : 10000 ppm – 25000 ppm (Yayan Sunarya, 2008). Berdasarkan data tersebut, maka dapat dipastikan bahwa pipa yang digunakan dalam sumur minyak bumi sangat rentan terhadap korosi. Korosi pada pipa sumur produksi minyak bumi disebabkan oleh adanya garam-garam klorida dan asam organik.



2.1.1 Tempat-tempat Terjadinya Korosi pada Produksi Minyak

Masalah korosi yang terjadi dilapangan produksi minyak adalah:

1. Down Hole Corrosion

High Fluid level pada jenis pompa angguk di sumur minyak dapat menyebabkan terjadinya stress pada rod bahkan dapat pula terjadi corrosion fatigue. Pemilihan material untuk peralatan bottom hole pump menjadi sangat renting. Pompa harus dapat tahan terhadap sifat-sifat korosi dari fluida yang diproduksi dan tahan pula terhadap sifat abrasi.

2. Flowing Well

Anulus dapat pula digunakan untuk mengalirkan inhibitor ke dasar tubing dan memberikan proteksi pada tabung dari kemungkinan bahaya korosi. Pelapisan dengan plastik dan memberikan inhibitor untuk produksi tubing dapat pula digunakan pada internal tubing surface.

3. Casing Corrosion

Casing yang terdapat di sumur-sumur produksi bervariasi dari yang besar sampai concentric acid. Diperlukan perlindungan katodik untuk external casing. Korosi internal casing tergantung dari komposisi annular fluid.

4. Well Heads

Peralatan dari well heads, terutama pada well gas tekanan tinggi, sering mengalami korosi yang disebabkan oleh kecepatan tinggi dan adanya turbulensi dari gas.

5. Flow Lines

Adanya akuntansi dari deposit di dalam flow line dapat menyebabkan korosi dan pitting yang akhirnya menyebabkan kebocoran. Internal corrosion di dalam flow line dapat dicegah dengan inhibitor. (Cowan Jack C., 1976)



2.2 Baja API 5L

Pipa adalah istilah untuk benda silinder yang berlubang dan digunakan untuk memindahkan zat hasil pemrosesan seperti cairan, gas, uap, zat padat yang dicairkan maupun serbuk halus. Material yang digunakan sebagai pipa sangat banyak diantaranya adalah: beton cor, gelas, timbal, kuningan (brass), tembaga, plastik, aluminium, besi tuang, baja karbon, dan baja paduan. Pemilihan material pipa akan sangat membingungkan sehingga perlu pemahaman mendalam untuk apa saluran/sistem pipa itu dibuat, mengingat setiap material memiliki keterbatasan dalam setiap aplikasinya. Material yang paling umum digunakan adalah pipa baja karbon. (Rini Riastuti, 2011)

Pemilihan bahan untuk tujuan pemipaan khususnya pipa minyak dan gas adalah suatu proses yang memerlukan pertimbangan yang tepat untuk pelayanan yang diperlukan. Bahan yang dipilih harus benar-benar aman dan tahan terhadap kondisi operasi, suhu, dan tekanan selama umur perancangan yang diinginkan. Kekuatan mekanik harus memadai untuk pelayanan jangka panjang dan mampu menahan perubahan operasi, misalnya siklus panas atau mekanis. Selain itu lingkungan sekitar sistem pemipaan dan komponennya beroperasi juga harus dipertimbangkan. Perubahan sifat-sifat bahan atau hilangnya beban efektif yang merubah luas penampang dapat terjadi melalui korosi, erosi atau kombinasi keduanya. Kemampuan bahan yang dipilih untuk dibengkokkan atau dibentuk, kecocokan untuk pengelasan atau metoda penyambungan lainnya, kemudahan perlakuan panas, keseragaman atau homogenitas dan kestabilan dari struktur mikro dan sifat-sifat bahan memberikan andil pada kelayakan ekonomis dari pipa yang dipilih. (ASM Handbook, 2005)

Pipa yang digunakan pada industri migas adalah jenis pipa baja karbon rendah dengan produk standar API (*American Petroleum Institute*) spesifikasi 5L. Termasuk dalam jenis pipa ini adalah jenis pipa tanpa las (*seamless pipe*) dan jenis pipa las (*welded pipe*). Jenis kelas API 5L ini adalah A25, A, B, X42,



X46, X52, X56, X60, X65, dan X70. Dimana komposisi kimia dan sifat-sifat mekanisnya dari tiap jenis berbeda. Penampakan baja API 5L grade B dapat dilihat pada gambar 2.1 dan untuk yield strength dan mechanical strength untuk baja API 5L dapat dilihat pada tabel 2.1.



Gambar 2.1 API 5L grade B carbon steel pipe

Table 2.1 Yield Strength dan Mechanical Strength berbagai Macam Baja API 5L

Grade	Yield Strength (MPa)	Mechanical Strength (MPa)
A25	172	310
A	207	331
B	241	414
X42	290	414
X46	317	434
X52	359	455
X56	386	490
X60	414	517



Grade	Yield Strength (MPa)	Mechanical Strength (MPa)
X65	448	531
X70	483	565

Dalam penelitian ini, material pipa yang digunakan adalah baja karbon rendah API 5 L *grade B*. Spesifikasinya dapat dilihat pada table 2.2. (Standard API, 2004)

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Pipa API 5 L *Grade B*

Elemen	Kadar (%)
Carbon	0,22
Mangan	1,2
Phospor	0,025
Sulfur	0,015
Titanium	0,04

Pipa API 5 L banyak digunakan dalam industri minyak dan gas baik onshore maupun offshore. Maksud dari API 5 L *Grade B* adalah

API : *American Petroleum Institute*
5 : Seri yang digunakan untuk *Tubular Goods (ex: Casing, Tubing, Pipeline)*
L : Line Pipe
B : Grade yang berhubungan dengan sifat mekanik material dan komposisi kimianya

2.3 Korosi

Korosi merupakan proses penurunan kemampuan suatu material (degradasi material) yang diakibatkan oleh reaksi kimia dengan material lain dan lingkungan (Jones, 2002). Korosi yang terjadi berdasarkan proses elektrokimia (electrochemical process) terdiri dari 4 komponen utama yaitu:

- a. *Anode* (Anoda)



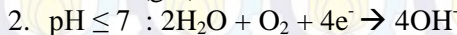
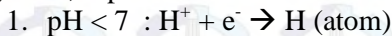
Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut. Reaksi pada anoda dapat dituliskan dengan persamaan :



Dengan z adalah valensi logam dan umumnya $z = 1, 2$, atau 3

b. *Cathode* (Katoda)

Katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun mungkin menderita kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Reaksi yang terjadi pada katoda berupa reaksi reduksi. Reaksi pada katoda tergantung pada pH larutan yang bersangkutan, seperti :



c. Elektrolit

Elektrolit adalah larutan yang mempunyai sifat menghantarkan listrik. Elektrolit dapat berupa larutan asam, basa, dan larutan garam. Larutan elektrolit mempunyai peranan penting dalam korosi logam karena larutan ini dapat menjadikan kontak listrik antara anoda dan katoda

d. Anoda dan Katoda harus terhubung secara elektris

Antara anoda dan katoda harus ada hubungan listrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir. Hubungan secara fisik tidak diperlukan jika anoda dan katoda merupakan bagian dari logam yang sama. (M. Fajar Sidiq, 2013)

Keempat elemen diatas sangat berperan penting dalam korosi. Sehingga mekanisme korosi yang terjadi pada baja yang berada didalam suatu larutan berawal dari teroksidasinya suatu logam. Logam yang teroksidasi akan melepaskan elektronnya ke elektrolit, untuk menyetimbangkan muatan pada logam itu sendiri, logam akan melepaskan ion yang bermuatan positif yang akan

berikatan dengan ion bermuatan negatif dari elektrolit sehingga membentuk suatu endapan yang melekat pada permukaan logam itu sendiri yang kemudian disebut dengan karat. Larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan H_2 dan reduksi O_2 akibat ion H^+ dan H_2O yang tereduksi. Reaksi yang terjadi di permukaan logam ini akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam kedalam larutan secara berulang-ulang hingga akhirnya logam akan kehilangan massanya. (Pierre R. Roberge, 2000)

2.4 Laju Korosi

Laju korosi didefinisikan sebagai banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu. Laju korosi umumnya dinyatakan dengan satuan *mils per year* (mpy) (Fontana, 1987). Satu *mils* adalah setara dengan 0,001 inchi. Laju korosi dapat dirumuskan seperti pada persamaan (1) sebagai berikut:

$$mpy = \frac{532 W}{DAT} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

W : berat yang hilang (mg)

D : densitas dari sampel uji yang digunakan (g/cm³)

A : luas area dari sampel uji yang digunakan (cm²)

T : waktu ekspos (jam)

Tabel. 2.3 Kontanta Laju Korosi

Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
mils per year (mpy)	3.45×10^6
Inches per year (ipy)	3.45×10^3
Inches per mounth (ipm)	2.87×10^4
Millimeters per year (mm/y)	8.76×10^7
Micrometers per year ($\mu m/y$)	8.76×10^4



Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
Picometers per second (pm/s)	2.78×10^6
Gram per square meter per hour ($\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$)	$1.00 \times 10^4 \times D^A$
Miligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times D^A$
Micrograms per square meter per second ($\mu\text{g/m}^2 \cdot \text{s}$)	$2.78 \times 10^6 \times D^A$

2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Korosi terjadi dipengaruhi oleh sifat dari kedua logam atau paduan dan lingkungannya. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi antara lain:

1. Temperatur
2. Faktor pH
3. Gas terlarut

2.5.1 Temperatur

Temperatur mempunyai pengaruh yang sangat bervariasi terhadap korosi. Pada temperatur kamar laju korosi relatif rendah namun dapat meningkatkan kondensasi lapisan film pada permukaan yang berakibat meningkatkan terjadinya korosi. Dan peningkatan temperatur dapat menurunkan laju korosi dengan terjadinya proses pengeringan pada permukaan. Namun adanya kombinasi antara nilai kelembaban dan temperatur tinggi serta diikuti oleh adanya polutan, maka akan meningkatkan laju korosi. Pada lingkungan berair (*aqueous*), temperatur mempengaruhi laju korosi, temperatur permukaan, heat flux, dan konsentrasi permukaan yang terkait serta gradien transfer kimia. (Pierre R. Roberge, 2000)

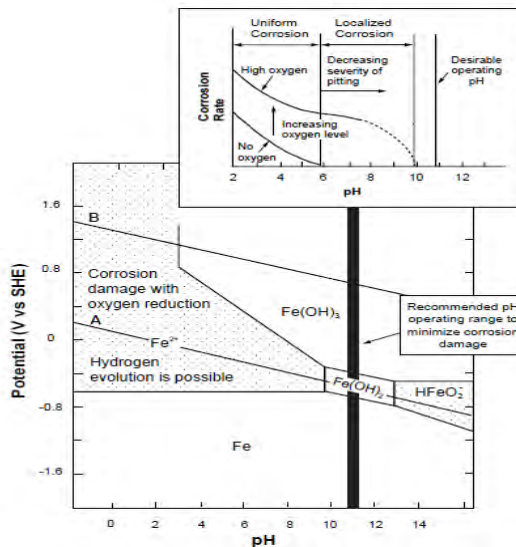
2.5.2 Faktor pH

Pada Diagram Pourbaix yang mempengaruhi proses korosi baja adalah potensial (volt) dan pH (tingkat keasaman). Semakin rendah pH ($\text{pH} < 4$) maka kemungkinan baja untuk terkorosi semakin besar karena baja terurai menjadi ion saat berada di lingkungan asam. Sedangkan pada daerah pH 4-10, laju

korosi tidak tergantung dari pH, namun bergantung pada kecepatan difusi oksigen ke permukaan logam. Pada daerah asam ($\text{pH} < 4$), deposit besi oksida terlarut, pH akan menurun ketika baja kontak langsung dengan larutan. Sedangkan apabila pH di atas 10, laju korosi akan berkurang karena baja membentuk lapisan pasif di permukaannya (ASM Handbook Volume 13, 2003).

Pada $\text{pH} < 4$ laju korosi meningkat dengan adanya konsentrasi ion hidrogen dan terjadi penurunan pH. Tetapi, mekanisme korosinya tidak hanya tergantung pada konsentrasi ion hidrogen, tetapi juga kehadiran ion-ion lain yang ada dalam larutan. Peningkatan laju korosi akan terjadi pada pH yang sangat rendah, laju korosi tidak tergantung pH pada range pH netral, laju korosi akan menurun dengan peningkatan pH, dan akhirnya laju korosi akan meningkat kembali pada pH yang sangat rendah. (ASM Handbook Volume 13, 2003).

Diagram porbaix pada gambar 2.2 menggambarkan tentang korosi pada Fe pada temperatur 25°C .

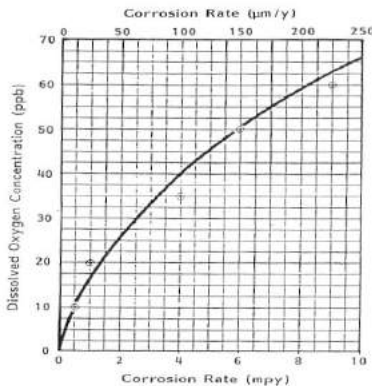


Gambar 2.2 Korosi Diagram Porbaix Fe pada 25°C (Pierre R. Roberge, 2000)

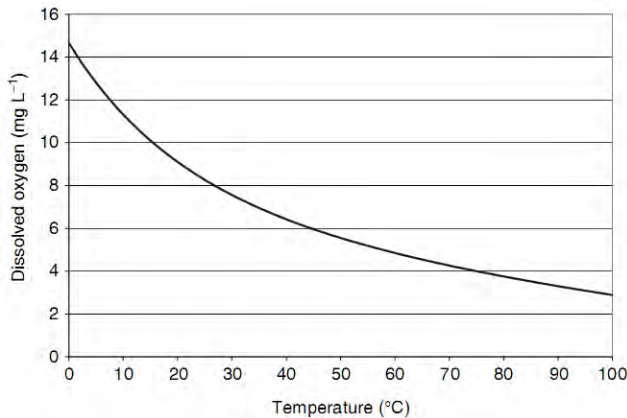


2.5.3 Gas Terlarut

- a. Oksigen (O_2), Oksigen merupakan oksidator kuat sehingga akan meningkatkan potensial korosi logam di lingkungan air (fluida) yang mengandung oksigen terlarut. Laju korosi dapat meningkat dengan kenaikan kelarutan oksigen seperti terlihat pada Gambar 2.10. Kelarutan oksigen sendiri dipengaruhi oleh suhu dari air atau pelarut. Semakin tinggi suhu air atau pelarut, maka makin rendah kelarutan oksigen. Hubungan antara kelarutan oksigen dengan suhu dapat dilihat pada Gambar 2.7. Selain itu, pada air yang mengandung garam, kandungan oksigen terlarut juga dipengaruhi oleh kadar garam-garam yang terlarut (Jones, 1992). Pada air yang mengandung garam NaCl misalnya, kadar oksigen terlarut paling tinggi terdapat pada kadar NaCl 3,5%. Oleh karena itulah, air laut bersifat sangat korosif, dikarenakan kombinasi dari tingginya kadar oksigen terlarut dengan garam NaCl. Pengaruh kelarutan oksigen terhadap laju korosi digambarkan pada gambar 2.3 dan hubungan konsentrasi oksigen terlarut terhadap temperatur di gambarkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.3 Pengaruh kelarutan oksigen terhadap laju korosi
(Jones, 1992)



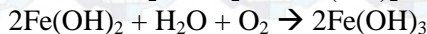
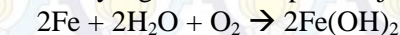
Gambar 2.4 Hubungan konsentrasi oksigen terlarut terhadap Temperatur (Jones, 1992)

- b. Karbondioksida (CO_2), terlarutnya karbondioksida dalam air akan terbentuk asam karbonat (H_2CO_3) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas.

2.6 Korosi pada Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah adalah baja yang memiliki kadar karbon kurang dari sama dengan 0,25% dan biasanya digunakan dalam aplikasi pipa saluran air. Untuk meningkatkan sifat-sifat mekanisnya diperlukan penambahan paduan lain. Baja terdiri dari beberapa fasa dan terdapat ketidakhomogenan pada permukaannya, sehingga menyebabkan sel elektrokimia lokal. Hal tersebut menyebabkan rendahnya ketahanan korosi pada baja karena reduksi katodik mudah untuk terjadi sehingga menyebabkan porous sebagai produk korosi dan tidak terbentuk produk sampungan seperti lapisan pasif. (Pierre R. Roberge, 2000)

Produk korosi yang dihasilkan pada baja antara lain:



Penambahan elemen paduan pada baja karbon rendah



seperti Cu, Ni, dan Cr, dapat meningkatkan ketahanan baja pada karbon rendah terhadap korosi. Sedangkan penambahan unsur seperti Si, Ti, S, Se, dan C akan menurunkan ketahanan terhadap korosi. (ASM Handbook, 2005)

2.7 Korosi pada Media Air laut

Korosi yang terjadi dilingkungan air laut didorong oleh faktor-faktor: kadar gas dalam air laut (*aerosols*), hujan (*rain*), embun (*dew*), kondensasi (*condensation*) dan tingkat kelembaban (*humidity*) serta resistivitas. Secara alami lingkungan air laut mengandung ion chloride (*chloride ions*) dengan kombinasi tingginya penguapan (*moisture*), unsur yang terkandung dalam air laut dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan presentasi oksigen terkandung yang juga turut memperburuk korosi karena air laut. Korosi air laut sangat bergantung pada:

- Kadar khlorida
- pH
- Kadar oksigen
- Temperatur

Tabel 2.4. Unsur pokok dalam media air laut

Anion	Part/Million	Equevalents per Million	Part per Million per unit Chlorinity
Chloride, Cl^-	18,980.00	535.30	998.90
Sulfate, SO_4^{2-}	2,649.00	55.10	139.40
Bicarbonete, HCO_3^-	139.70	2.30	7.35
Bromine, Br^-	64.60	0.80	3.40
Fluoride, F^-	1.30	0.10	0.07
Boric Acid, H_3BO_3	26.00	-	1.37
Total		593.60	



Cation	Part/Million	Equevalents per Million	Part per Million per unit Chlorinity
Sodium, Na ⁺	10,556.10	159.00	555.60
Magnesium, Mg ²⁺	1,272.00	104.60	66.95
Calcium, Ca ²⁺	400.10	20.00	21.06
Potassium, K ⁺	380.00	9.70	20.00
Strotium, Sr ²⁺	13.30	0.30	0.70
Total		593.60	

Air laut merupakan lingkungan yang korosif untuk besi dan baja, terutama karena resistivitas air laut sangat rendah (± 25 Ohm-cm) dibandingkan resistivitas air tawar (± 4000 Ohm-cm). Proses korosi air laut merupakan proses elektrokimia. (Eko Julianto, 2010)

Korosi pada lingkungan air laut dipengaruhi oleh konsentrasi ion agresif, seperti ion klorida (Cl^-) dan ion sulfat (SO_4^{2-}). Ion klorida dapat merusak lapisan pasif yang menghalangi korosi. Mekanisme tersebut dapat menghasilkan *pitting corrosion* dimana lapisan pasif yang pecah akan memberikan jalan bagi H^+ menuju logam yang sudah tidak terlindungi lagi.

Ion klorida dikenal sebagai ion yang memiliki efek perusak terhadap baja karbon. Kebanyakan ion tersebut memiliki kemampuan untuk terserap di permukaan logam dan berinterferensi membentuk lapisan pasif. *Pitting* merupakan jenis serangan utama yang terjadi akibat ion klorida. Ketika proses korosi dimulai, reaksi hidrolisis logam dari reaksi anodik menyebabkan penurunan pH, yang dapat menghambat perbaikan lapisan pasif dan mempercepat serangan. Baja karbon akan terkorosi di dalam air yang mengandung klorida terutama dalam bentuk korosi *uniform* dibandingkan dalam bentuk *localized attack*. (ASM Handbook, 2005)



2.8 Jenis-Jenis Perlindungan Korosi

Ada banyak metode yang telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan korosi. Dimana pada masing-masing metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya, sehingga suatu metode yang efektif akan diterapkan dengan melihat kondisi lingkungannya. Akan tetapi perlindungan dengan metode apapun itu tidak berarti selalu aman. Kesalahan-kesalahan fatal dapat terjadi jika dalam operasinya tidak dilaksanakan sesuai dengan prosedur yang ditetapkan.

Berikut adalah metode-metode yang banyak digunakan sebagai langkah untuk pencegahan korosi:

a. Pengubahan Media

Korosi merupakan interaksi antara logam dengan media sekitarnya, maka pengubahan media sekitarnya akan dapat mengubah laju korosi. Ada tiga situasi yang dapat terjadi yaitu:

- Media sekitar / lingkungan berupa gas,
- Media sekitar berupa larutan dengan ion-ion tertentu,
- Logam terbenam dalam tanah.

b. Seleksi Material

Metode umum yang sering digunakan dalam pencegahan korosi yaitu pemilihan logam atau paduan dalam suatu lingkungan korosif tertentu untuk mengurangi resiko terjadinya korosi.

c. Proteksi Katodik (Cathodic Protection)

Proteksi katodik adalah jenis perlindungan korosi dengan menghubungkan logam yang mempunyai potensial lebih tinggi ke struktur logam sehingga tercipta suatu sel elektrokimia dengan logam berpotensi rendah bersifat katodik dan terproteksi.

d. Proteksi Anodik (Anodic Protection)

Adanya arus anodik akan meningkatkan laju ketidak-larutan logam dan menurunkan laju pembentukan hidrogen. Hal ini bisa terjadi untuk logam-logam “active-passive” seperti Ni, Fe, Cr,



Ti dan paduannya. Jika arus yang lewat logam dikontrol seksama (dengan potentiostat) maka logam akan bersifat pasif dan pembentukan logam-logam tak terlarut akan berkurang.

e. Inhibitor Korosi

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya korosi adalah dengan penggunaan inhibitor korosi. Secara umum suatu inhibitor adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia.

Sedangkan inhibitor korosi adalah suatu zat kimia yang bila ditambahkan kedalam suatu lingkungan, dapat menurunkan laju penyerangan korosi lingkungan itu terhadap suatu logam. Mekanisme penghambatannya terkadang lebih dari satu jenis. Sejumlah inhibitor menghambat korosi melalui cara adsorpsi untuk membentuk suatu lapisan tipis yang tidak nampak dengan ketebalan beberapa molekul saja, ada pula yang karena pengaruh lingkungan membentuk endapan yang nampak dan melindungi logam dari serangan yang mengkorosi logamnya dan menghasilkan produk yang membentuk lapisan pasif, dan ada pula yang menghilangkan konstituen yang agresif.

f. Pelapisan (Coatings)

Prinsip umum dari pelapisan yaitu melapiskan logam induk dengan suatu bahan atau material pelindung. (M. Fajar Sidiq, 2013)

2.9 Inhibitor

2.9.1 Mekanisme Kerja Inhibitor

Mekanisme kerja dari inhibitor dapat dibagi menjadi:

1. Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa



molekul inhibitor. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya.

2. Melalui pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak sehingga lapisan yang terjadi dapat teramati oleh mata.
3. Inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya, kemudian menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.
4. Inhibitor menghilangkan konstituen yang agresif dari lingkungannya. Berdasarkan sifat korosi logam secara elektrokimia, inhibitor dapat mempengaruhi polarisasi anodik dan katodik. Bila suatu sel korosi dapat dianggap terdiri dari empat komponen yaitu: anoda, katoda, elektrolit dan penghantar elektronik, maka inhibitor korosi memberikan kemungkinan menaikkan polarisasi anodik, atau menaikkan polarisasi katodik atau menaikkan tahanan listrik dari rangkaian melalui pembentukan endapan tipis pada permukaan logam. (Indra Surya Dalimunthe, 2004)

2.9.2 Klasifikasi Inhibitor

Berdasarkan fungsi, inhibitor terbagi menjadi:

a. Inhibitor Katodik

Inhibitor katodik dapat memperlambat reaksi katodik suatu logam dan membentuk presipitat di wilayah katoda yang dapat meningkatkan impedansi permukaan sekaligus membatasi difusi pereduksi untuk melindungi logam tersebut.

Terdapat tiga jenis inhibitor katodik, yaitu:



1. Racun katoda, dapat menghambat reaksi evolusi hidrogen. Contohnya seperti sulfida, selenida, arsenat, dan antimonat.
2. Presipitat katoda, dapat mengendap membentuk oksida sebagai lapisan pelindung pada logam. Contohnya seperti kalsium, seng, dan magnesium.
3. Oxygen scavengers, yang dapat mengikat oksigen terlarut sehingga mencegah reaksi reduksi oksigen pada katoda. Contohnya seperti hidrasin, natrium sulfit, dan hidroksil amin HCl. (Pierre R. Roberge, 2000)

b. Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik dapat memperlambat reaksi elektrokimia di anoda melalui pembentukan lapisan pasif di permukaan logam tersebut sehingga logam terlindung dari korosi.

Terdapat dua jenis inhibitor anodik yaitu:

1. *Oxidizing anions*, yang dapat membentuk lapisan pasif pada baja tanpa kehadiran oksigen. Contohnya antara lain kromat, nitrit, dan nitrat.
2. *Non-oxidizing ions*, yang dapat membentuk lapisan pasif pada baja dengan kehadiran oksigen. Contohnya antara lain fosfat, tungstat, dan molybdat.

Inhibitor anodik merupakan inhibitor yang paling efektif serta paling banyak digunakan diantara jenis inhibitor yang lain. (Pierre R. Roberge, 2000)

c. Inhibitor Presipitasi

Inhibitor presipitasi dapat membentuk presipitat di seluruh permukaan suatu logam yang berperan sebagai lapisan pelindung untuk menghambat reaksi anodik dan katodik logam tersebut secara tidak langsung. Contoh dari inhibitor jenis ini adalah silikat dan fosfat. (Adhi Nugroho, 2011)

d. Green Inhibitor

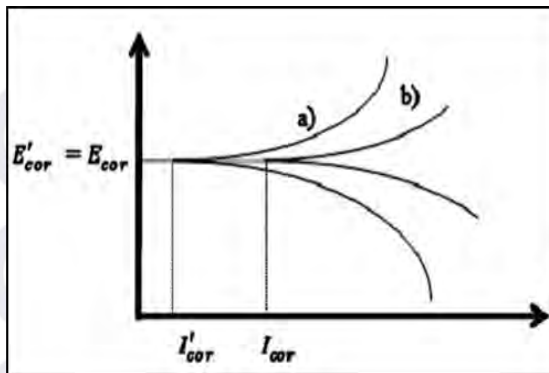
Green inhibitor atau inhibitor organik sangat diperlukan karena inhibitor jenis ini sangat menguntungkan



dunia industri dikarenakan harganya yang relatif tidak mahal dan pengaplikasiannya yang ramah lingkungan. Efektifitas inhibitor jenis ini sangat bergantung kepada komposisi kimia yang dimilikinya, struktur molekul, dan afinitasnya terhadap permukaan logam. Karena pembentukan lapisan merupakan proses adsorpsi, maka temperatur dan tekanan dalam sistem memegang peranan penting.

Kebanyakan inhibitor yang efisien yang digunakan dalam industri adalah senyawa-senyawa organik yang mengandung heteroatom seperti O, N, S dan ikatan rangkap di dalam molekul-molekulnya yang memfasilitasi adsorpsi pada permukaan logam. (Adhi Nugroho, 2011)

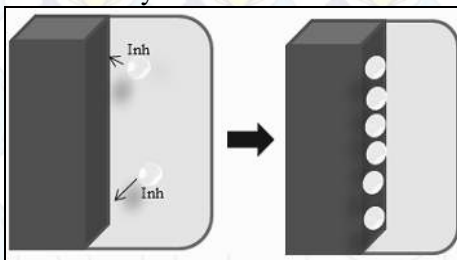
Inhibitor ini bekerja dengan membentuk senyawa kompleks yang mengendap pada permukaan logam sebagai lapisan pelindung yang bersifat hidrofobik yang dapat menghambat reaksi logam dengan lingkungannya. Reaksi yang terjadi berupa reaksi anodik, katodik, maupun keduanya. Hal ini bergantung dari reaksi pada permukaan logam dan potensial logam tersebut. Selain itu, juga dapat berfungsi untuk menetralkan konstituen korosif dan mengabsorpsi konstituen korosif tersebut. Penggunaan dengan konsentrasi yang tepat dapat mengoptimalkan perlindungan pada seluruh logam. (Pierre R. Roberge, 2000)



Gambar 2.5 Diagram Polarisasi Potensiostat: Perilaku Elektrokimia Logam dalam Larutan yang mengandung Inhibitor Katodik dan Anodic (a) perbandingan larutan yang sama tanpa inhibitor (b)

Pada gambar 2.5, menunjukkan teori kurva polarisasi potensiostat, terlihat bahwa pengaruh larutan yang mengandung inhibitor organik pada logam menghadirkan perilaku anodic dan katodik. Setelah penambahan inhibitor, potensial korosi hampir sama, tetapi arus menurun dari I_{cor} menjadi I'_{cor} . (Camila G. Dariva, 2014)

Seperti pada gambar 2.6, mekanisme *green inhibitor*, ketika teradsorpsi pada permukaan logam dan membentuk lapisan protektor di atasnya.



Gambar 2.6 Ilustrasi Mekanisme *Green Inhibitor*, berperan melalui Adsorpsi Inhibitor di atas Permukaan Logam, dimana “Inh” menunjukkan molekul inhibitor.



Efisiensi inhibitor organik bergantung pada:

- Struktur kimia, seperti ukuran molekul organik;
- Ikatan aromatic dan/atau konjugasi, seperti panjang rantai karbon;
- Tipe dan jumlah ikatan atom atau grup molekul (baik π atau σ);
- Muatan permukaan logam dari tipe adsorpsi seperti kekuatan ikatan terhadap substrat logam;
- Kemampuan lapisan menjadi compact;
- Kapabilitas untuk membentuk ikatan kompleks dengan atom sebagai padatan antara kisi logam
- Jenis larutan elektrolit (B. Sanyal, 1981)

Green inhibitor akan teradsorpsi pada permukaan tergantung dari muatan inhibitor dan muatan logam untuk membentuk ikatan dari senyawa kompleks tersebut. Sebagai contoh kation inhibitor seperti amine atau anion inhibitor seperti sulfonat akan teradsorpsi tergantung muatan logam tersebut apakah negative atau positive. Efektifitas dari green inhibitor dipengaruhi oleh komposisi kimia, struktur molekul, dan gugus fungsi, ukuran, dan berat molekul, serta afinitas inhibitor terhadap logamnya. (Pierre R. Roberge, 2000)

Inhibitor organik mampu untuk memunculkan efek katodik dan juga anodik. Mekanisme dari inhibitor jenis ini adalah dengan cara membentuk lapisan tipis yang bersifat hidrofobik sebagai hasil adsorpsi ion inhibitor oleh permukaan logam. Inhibitor organik ini membentuk lapisan protektif yang teradsorpsi di permukaan logam dan menjadi penghalang antara logam dan elektrolit sehingga reaksi reduksi dan oksidasi pada proses korosi dapat terhambat. Contoh dari inhibitor organik ini adalah gugus kimia yang bisa membentuk ikatan *co-ordinates* dengan logam seperti *amino* ($-\text{NH}_2$), *carboxyl* ($-\text{COOH}$), dan *phosphonate* ($-\text{PO}_3\text{H}_2$) (Andijani, 2005). Reaksi adsorpsi pada saat pembentukan lapisan yang protektif ini dipengaruhi oleh



panas dan tekanan. Inhibitor organik akan terabsorpsi sesuai muatan ion-ion inhibitor dan muatan permukaan. Kekuatan dari ikatan adsorpsi merupakan faktor penting bagi inhibitor dalam menghambat korosi.

Pada jenis inhibitor organik, terjadi proses adsorpsi pada permukaan logam untuk membentuk lapisan senyawa kompleks. Namun dalam adsorpsi terbagi menjadi 3 mekanisme yaitu (Roberge, 2008) :

1. *Physical adsorption*

Mekanisme ini terbentuk hasil dari interaksi elektrostatis antara inhibitor dengan permukaan logam. Logam yang diberi muatan positif akan mengikat inhibitor dengan muatan negatif. Begitu juga dengan sebaliknya. Ikatan ini terbentuk dengan cepat dan bersifat bolak-balik namun mudah hilang atau rusak dari permukaan logam.

2. *Chemisorption*

Mekanisme ini terbentuk dari transfer atau membagi muatan antara molekul dari inhibitor dengan permukaan logam. Jenis adsorpsi ini sangat efektif karena sifatnya tidak bolak-balik namun dalam pembentukannya berjalan lebih lambat.

3. *Film Forming*

Mekanisme jenis ini dipengaruhi oleh struktur inhibitor, komposisi larutan sebagai media elektrolit, sifat bawaan dari logam, dan potensial elektrokimia pada lapisan antar muka logam-larutan. Adsorpsi inhibitor organik biasanya melibatkan minimal dua dari jenis adsorpsi di atas yang berjalan simultan. Sebagai contoh, adsorpsi inhibitor organik pada logam di lingkungan HCl adalah kombinasi *chemisorptions-physical adsorption* yang memberikan perlindungan fisik dan kimiawi (NACE, 1973).



Tabel 2.5 Perbedaan Fisisorpsi dan Kemisorpsi (Dede Firmansyah, 2011)

	Fisisorpsi	Kemisorpsi
Tipe Interaksi	Molekul terikat secara Van der Waals atau gaya elektrostatis	Molekul terikat dengan ikatan kimia dengan terjadinya transfer atau berbagai muatan
Reversibilitas	Adsorbat mudah dihilangkan dengan pelarut pembersih	Adsorpsi tidak dapat kembali, lebih kuat
Energi	Panas adsorpsi rendah <40 kJ/mol	Panas adsorpsi tinggi >40 kJ/mol
Kinetika	Proses adsorpsi berlangsung cepat	Proses adsorpsi lambat
Spesifitas	Bersifat tidak spesifik atau tidak dipengaruhi identifikasi permukaan	Interaksi spesifik sangat bergantung pada identifikasi permukaan

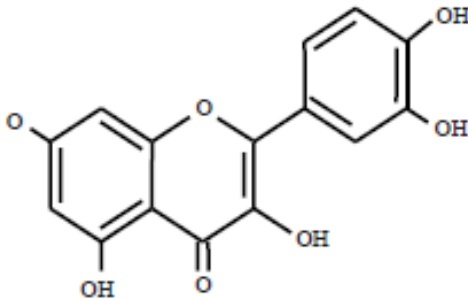
Menurut Maryati, flavonoid adalah suatu kelompok senyawa fenol yang terbesar ditemukan di alam. Senyawa-senyawa ini merupakan zat warna merah, ungu, dan biru, dan sebagian zat warna kuning yang ditemukan dalam tumbuh-tumbuhan. Flavonoid mempunyai kerangka dasar karbon yang terdiri dari 15 atom karbon, dimana dua cincin benzene



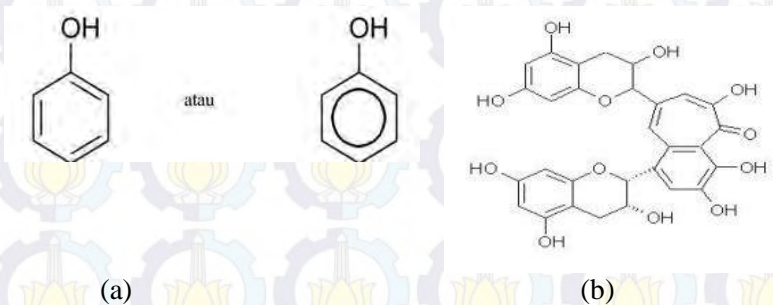
(C₆) terikat pada suatu rantai propan (C₃) sehingga membentuk suatu susunan C₆-C₃-C₆. Susunan ini dapat menghasilkan tiga jenis struktur, yakni 1,3-diarilpropan atau neoflavonoid. Senyawa-senyawa flavonoid terdiri dari beberapa jenis tergantung pada tingkat oksidasi dari rantai propane dari sistem 1,3-diarilpropana. Flavon, flavonol dan antosianidin adalah jenis yang banyak ditemukan dalam sehingga sering disebut sebagai flavonoida utama. Banyaknya senyawa flavonoida ini disebabkan oleh berbagai tingkat hidroksilasi, alkoksilasi atau glikosilasi dari struktur tersebut. Penggolongan flavonoid berdasarkan penambahan rantai oksigen dan perbedaan distribusi dari gugus hidroksil. (Isa Abd. Maryati, -)

Menurut Rijke (2005), flavonoid merupakan senyawa polar karena memiliki sejumlah gugus hidroksil yang tidak tersubstitusi. Pelarut polar seperti etanol, metanol, etilasetat, atau campuran dari pelarut tersebut dapat digunakan untuk mengekstrak flavonoid dari jaringan tumbuhan. Pengambilan bahan aktif dari suatu tanaman, dapat dilakukan dengan ekstraksi. Dalam proses ekstraksi ini, bahan aktif akan terlarut oleh zat penyari yang sesuai sifat kepolarannya. (Rijke E., 2005)

Berbagai jenis senyawa, kandungan dan aktivitas antioksidatif flavonoid seperti gambar 2.7 dan 2.8 sebagai salah satu kelompok antioksidan alami yang terdapat pada sereal, sayur-sayuran dan buah, telah banyak dipublikasikan. Flavonoid berperan sebagai antioksidan dengan cara mendonasikan atom hidrogennya atau melalui kemampuannya mengkelat logam, berada dalam bentuk glukosida (mengandung rantai samping glukosa) atau dalam bentuk bebas yang disebut aglikon). (Resi Agestia Waji, 2009)



Gambar 2.7 Kerangka C₆-C₃-C₆ Flavonoid



Gambar 2.8 Struktur kimia fenol (a) dan polifenol (b)

Senyawa tanin seperti pada gambar 2.9 merupakan senyawa yang termasuk golongan senyawa flavonoid, karena dilihat dari strukturnya memiliki 2 cincin aromatik yang diikat oleh tiga atom karbon. (Elok Kamilah Hayati, 2010)

Menurut Rahmayeni (2001), tanin adalah senyawa organik non toksik yang tergolong polifenol yang bisa diperoleh dari ekstrak tumbuh-tumbuhan. Tanin dapat berfungsi sebagai zat anti korosi. Dalam senyawa tanin, terdapat gugus fungsi hidroksi yang melekat pada cincin aromatis sehingga tanin dapat membentuk kompleks khelat dengan kation besi dan logam lainnya. (Rahmayeni, 2001)

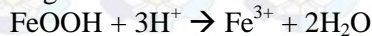
Tanin dapat berfungsi sebagai zat anti korosi yang dapat menggantikan fungsi kromat dan timbale merah dalam



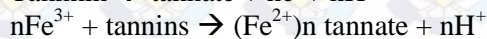
zat dasar. Dalam senyawa tannin, terdapat gugus fungsi hidroksi yang melekat pada cincin aromatis sehingga tannin dapat membentuk kompleks khelat dengan kation besi dan logam lainnya. Senyawa tanin dapat membentuk kompleks dengan besi (II) dan besi (III).

Kompleks besi (II)-tanin tidak berwarna dan sangat mudah larut dan teroksidasi. Dengan adanya oksigen, kompleks ini berubah menjadi kompleks besi(III)-tanin yang disebut tanat. Kompleks inilah yang akan melekat pada permukaan besi yang akan menghalangi terjadinya proses korosi lebih lanjut karena kompleks tersebut akan terserap pada permukaan besi dan melindungi permukaan besi. (Ali, 2014)

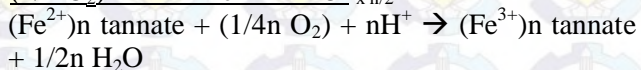
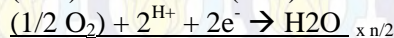
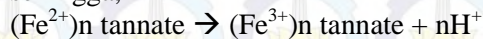
A.A Rahim, at. El (2007), menjelaskan secara sederhana konversi yang relative mudah *dari iron (III) oxides* menjadi deposit biru hitam *iron (III) tannate* dengan reaksi sebagai berikut:

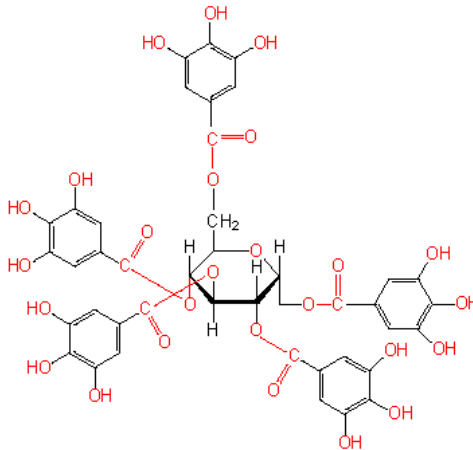


Diikuti dengan reduksi ion Fe^{2+} dan reaksi dengan tannin $n\text{Fe}^{2+} + n\text{e}^- \rightarrow n\text{Fe}^{2+}$



sehingga,





Gambar 2.9 Struktur kimia tanin

2.10 Penentuan Efisiensi Inhibisi

Menurut Sri Hermawan (2012), penentuan efisiensi inhibisi dapat dinyatakan dengan rumus pada persamaan (2):

$$\text{Efisiensi inhibisi} = \frac{V_{ko} - V_{ki}}{V_{ko}} \times 100\% \quad \text{.....(2)}$$

Dimana : V_{ko} = laju reaksi korosi tanpa inhibitor

V_{ki} = laju reaksi korosi dengan inhibitor

Biasanya, efisiensi inhibitor meningkat dengan adanya penambahan konsentrasi inhibitornya. Inhibitor adalah zat kimia yang bereaksi dengan permukaan logam atau lingkungan pada permukaan yang terekspos, memberikan proteksi pada permukaan. Inhibitor biasanya bekerja dengan menyerap inhibitor itu sendiri pada permukaan logam, kemudian melindungi permukaan logam dengan membentuk lapisan (film). Inhibitor terdistribusi normal dari larutan atau menyebar. Inhibitor dapat memperlambat korosi dengan cara :

- Meningkatkan anoda atau katoda polarisasi



- Menurunkan pergerakan atau difusi ion pada permukaan logam
- Meningkatkan ketahanan elektrik permukaan logam (Roberge, 2000)

2.11 Pengujian Weight Loss

Metode paling mendasar yang digunakan untuk mengukur korosi adalah dengan mengekspose sampel material ke dalam lingkungan korosi. Dalam hal ini pengukurannya ditekankan pada laju korosi seragam dari sampel (coupon) yang mengalami kehilangan berat. Sebelum dilakukan proses pengujian, terlebih dahulu dilakukan preparasi terhadap sampel yang akan digunakan. Pada umumnya sampel yang digunakan berbentuk segiempat atau lingkaran. Permukaan sampel kemudian dibersihkan dari oksida-oksida yang menempel menggunakan kertas ampelas dan dilanjutkan dengan melakukan penimbangan berat awal sampel. Kemudian sampel direndam kedalam larutan selama waktu yang telah ditentukan. Setelah proses perendaman selesai, dilakukan pembersihan dan penimbangan berat akhir sampel. Hasil pengurangan berat awal dan berat akhir digunakan untuk mengukur laju korosi.

2.12 Perhitungan Adsorpsi Isothermal

Inhibisi dari korosi logam oleh senyawa organik dilengkapi dengan adanya adsorpsi molekul inhibitor atau terbentuknya film pada permukaan logam sebagai penghalang antara permukaan logam dan media korosifnya. Adsorpsi isothermal menjelaskan tentang mekanisme inhibisi dari inhibitor korosi. Adsorpsi pada permukaan yang solid dapat digolongkan menjadi dua yaitu fisisorpsi dan chemisorpsi bergantung pada kekuatan interaksi antara permukaan dan molekul teradsorpsi. Hubungan antara efisiensi inhibitor dan konsentrasi inhibitor pada temperatur konstan diketahui sebagai isotherm. Persamaan adsorpsi isotherm Langmuir seperti dibawah ini :



$$\theta = \frac{\text{Weight Loss}_{\text{uninhibited}} - \text{Weight Loss}_{\text{inhibited}}}{\text{Weight Loss}_{\text{uninhibited}}} \quad \text{.....(3)}$$

$$K_{\text{ads}} = \frac{\theta}{C(1 - \theta)} \quad \text{.....(4)}$$

$$\Delta G^{\circ}_{\text{ads}} = -8.314 \frac{J}{\text{mol K}} 298 K \ln(55.5 \times 0.404) \quad \text{.....(5)}$$

Dimana K_{ads} = konstanta kesetimbangan adsorpsi
 C = konsentrasi inhibitor
 θ = *surface coverage*
 $\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$ = energi bebas Gibbs (kJ/mol)
 R = konstanta gas (8.314 J/mol K)
 55.5 = nilai konstan konsentrasi air

Jika diperoleh hasil $\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$ dengan nilai lebih positif dari -20 kJ/mol, sehingga diperkirakan absorpsi yang terjadi secara fisisorpsi. Namun jika rentang nilai $\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$ antara -20 kJ/mol hingga -40 kJ/mol diperkirakan adsorpsi yang terjadi adalah. Jika nilai $\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$ lebih negative dari -40 kJ/mol maka adsorpsi yang terjadi chemisorpsi. Persamaan Langmuir digunakan pada adsorpsi homogen dan *monolayer* (ketebalan satu molekul) (Nwosu, 2014)

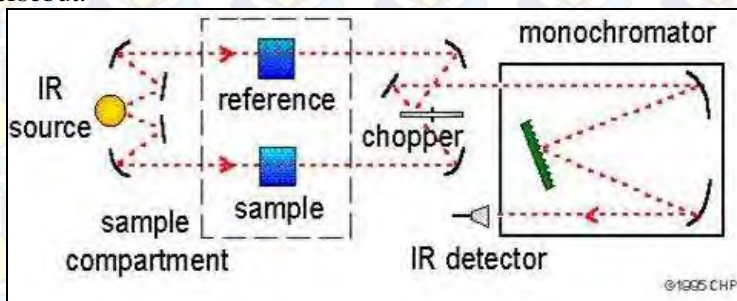
2.13 Pengujian FTIR

Fourier Transformed Infrared (FTIR) merupakan metode spektroskopi infrared modern yang dilengkapi dengan teknik transformasi fourier, untuk mendeteksi dan menganalisis hasil spektrumnya. Spektrum infrared yang dihasilkan dari suatu senyawa adalah khas untuk masing-masing senyawa, seperti sebuah fingerprint untuk senyawa tersebut. Metode spektroskopi yang digunakan adalah metode spektroskopi absorpsi, yaitu metode spektroskopi yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi infrared oleh molekul dari suatu senyawa. Prinsip kerja dari FTIR menggunakan prinsip interferometer, yang berarti

sampel dilewati radiasi infrared, kemudian radiasi infrared diabsorpsi oleh sampel dan sebagian dilewatkan atau ditransmisikan. (Azzis, S. N. 2012)

FTIR merupakan salah satu alat yang dipakai untuk mengidentifikasi senyawa, baik alami maupun buatan. Dalam FTIR, dua molekul senyawa dengan struktur kimia yang berbeda memiliki spektrum inframerah yang juga berbeda. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan jenis ikatan dan frekuensi vibrasi. Meskipun jenis ikatan sama, namun jenis senyawa berbeda, frekuensi vibrasi yang dihasilkan juga berbeda, sehingga spektrum inframerah pada FTIR merupakan sidik jari dari suatu molekul.

Jika sinar inframerah dilewatkan melalui sampel senyawa organik, maka terdapat sejumlah frekuensi yang diserap dan ada yang diteruskan atau ditransmisikan. Serapan cahaya oleh molekul tergantung pada struktur elektronik dari molekul tersebut.



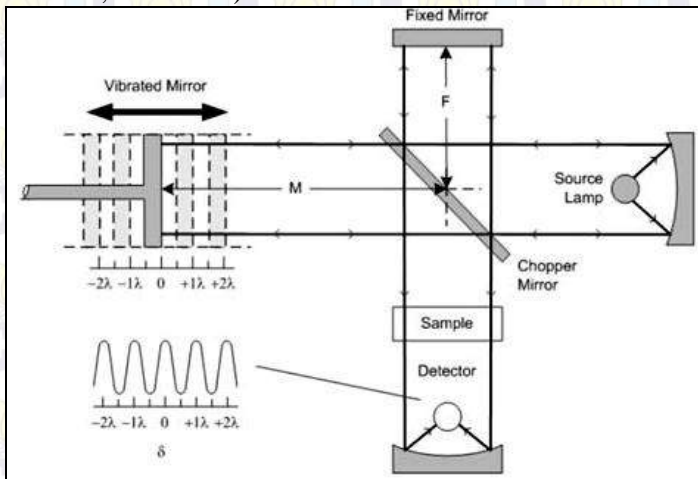
Gambar 2.10 Skema Alat Spektrofotometer Dispersive (Azzis S. N., 2012)

Molekul yang menyerap energi tersebut akan mengalami perubahan energi vibrasi dan perubahan tingkat energi rotasi. FTIR akan mendeteksi suatu sampel pada tingkat gugus fungsi. Ikatan-ikatan yang berbeda seperti C-C, C=C, C≡C, CO, C=O, O-H serta NH mempunyai frekuensi karakteristiknya sebagai pita serapan dalam spektrum inframerah. Ikatan-ikatan tersebut akan



terbaca pada bilangan gelombang yang berbeda – beda sesuai dengan pita serapan dalam spektrum inframerah.

Hasil analisa dari FTIR adalah sebuah grafik absorbansi yang terdiri dari nilai absorbansi pada sumbu Y dan bilangan gelombang cm^{-1} atau frekuensi pada sumbu X. Analisis gugus fungsi suatu sampel dilakukan dengan membandingkan pita absorbansi yang terbentuk pada spektrum inframerah. (Silverstein, dkk. 2005)



Gambar 2.11 Sistem optik interferometer Michelson pada Spektrofotometer FTIR. (Azzis S. N., 2012)

Berdasarkan daerah bilangan gelombang, sinar infrared terbagi menjadi tiga daerah, yaitu daerah infrared dekat ($4.000\text{--}14.000\text{ cm}^{-1}$), daerah infrared pertengahan ($400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$), dan daerah infrared jauh ($10\text{--}400\text{ cm}^{-1}$). Daerah yang paling banyak digunakan untuk berbagai analisis molekul adalah daerah infrared pertengahan ($400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$), karena daerah tersebut cocok untuk mempelajari energi vibrasi dalam molekul. Identifikasi suatu senyawa organik atau anorganik, baik dalam bentuk padat, cair, maupun gas dapat dideteksi melalui metode. (Prayogha, P. K.G., 2012)



Sampel yang dianalisis menggunakan FTIR akan menghasilkan sebuah spektrum. Spektrum tersebut terdiri dari berbagai puncak yang menunjukkan suatu gugus spesifik tertentu dari suatu senyawa pada frekuensi tertentu. Suatu senyawa yang memiliki struktur kimia yang berbeda, akan memiliki jenis ikatan dan frekuensi gugus fungsi yang berbeda. (Prayogha, P. K.G., 2012)

FTIR merupakan metode analisis material dengan menggunakan spektroskopi sinar infra merah. Sinar infra merah memiliki rentang panjang gelombang dari $2.5\mu\text{m}$ sampai $25\mu\text{m}$. Radiasi infrared (IR) pada dasarnya mengacu pada bagian spektrum elektromagnetik antara daerah yang tampak dengan daerah microwave. Penggunaan IR yang paling banyak adalah pada kimia organik dengan pembatasan spektrum antara 4000 sampai 400 cm^{-1} . Spektrum yang dihasilkan oleh radiasi IR dapat digunakan untuk mengetahui identitas dari suatu kimia organik, hal ini didasarkan pada molekul dapat memberikan suatu spektrum yang sangat kompleks meskipun merupakan molekul yang sederhana. Oleh karena itu ketika suatu kimia organik bertemu dengan spektrum dan dibandingkan dengan suatu sampel yang otentik, maka akan menghasilkan puncak-puncak yang ketika dihubungkan akan menjadi identitas dari kimia organik tersebut. Spektrum IR merupakan karakteristik dari seluruh molekul, disebabkan oleh suatu gugus atom dapat menimbulkan band di atau dekat dengan frekuensi yang sama tanpa memperhatikan struktur dari keseluruhan molekul. Radiasi IR akan diabsorpsi dan dirubah oleh molekul organik menjadi energi getaran molekul (*molecular vibration*) pada frekuensi 4000 dan 400 cm^{-1} . Spektra dari getaran muncul dalam bentuk band karena satu perubahan energi getaran disertai dengan sejumlah perubahan energi rotasi (*rotational energy change*). Posisi serapan dalam spektra IR dinyatakan sebagai wavenumber atau frekuensi dengan unit dinyatakan dalam cm^{-1} . Sedangkan intensitas serapan dinyatakan salah satunya dengan *transmittance* (T) atau *absorbance* (A). *Transmittance* adalah perbandingan dari



daya radiasi yang ditransmisikan oleh sampel menuju ke daya radiasi yang terjadi pada sampel. Absorbance adalah logaritma yang sesuai dengan transmittance; $A = \log_{10}(1/T)$. (Silverstein, dkk. 2005)

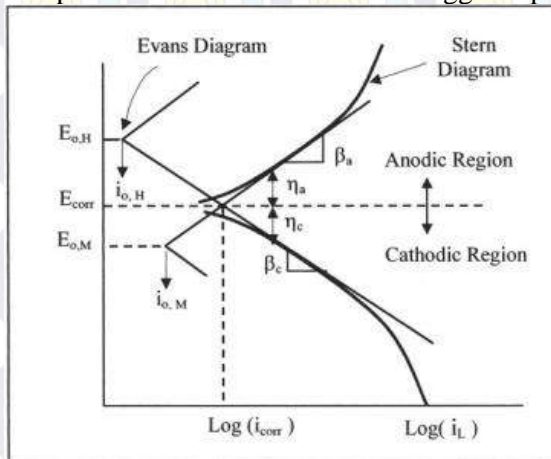
Molekul memiliki dua tipe vibrasi/getaran yaitu regang dan tekuk. getaran regang adalah gerakan secara berirama (rhythmical) sepanjang sumbu ikat, seperti adanya jarak antar atom yang naik atau turun. Getaran tekuk mungkin terdiri dari perubahan sudut ikatan antara ikatan dengan atom pada umumnya atau pergerakan dari gugus atom terhadap beda molekul tanpa adanya pergerakan dari atom dalam gugus terhadap atom lain. Frekuensi dari regang dapat diperkirakan dengan menggunakan hukum hooke. Sedangkan untuk perkiraan frekuensi dimana gugus fungsi organik yang dapat diserap oleh radiasi IR disebut sebagai frekuensi gugus. Frekuensi gugus jarang sekali memiliki nilai sama disebabkan frekuensi gugus tersebut terjadi sebagai interaksi dengan getaran lain yang terkait dengan satu atau dua atom yang menyusun gugus. Oleh karena itu serapan maksimum untuk gugus fungsi dapat ditentukan. Untuk mengetahui gugus fungsi dapat dilihat pada referensi tabel dari buku berjudul "Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies". (George Socrates, 2001)

2.14 Pengujian Tafel Polarisasi

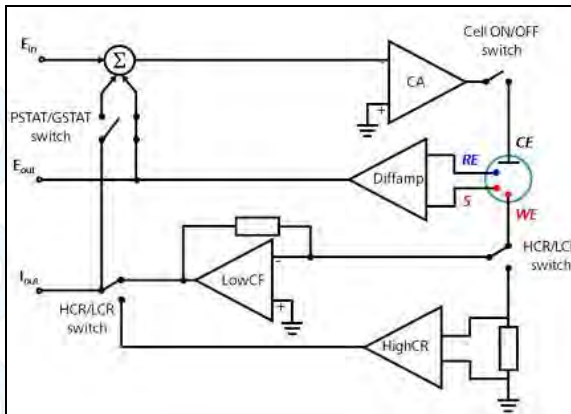
Polarisasi merupakan suatu fenomena dimana terjadi penyimpangan potensial dari kondisi kesetimbangannya. Dengan metoda polarisasi, laju korosi dapat ditentukan oleh kerapatan arus yang timbul (*current density*) untuk menghasilkan suatu kurva polarisasi (tingkat perubahan potensial sebagai fungsi dari besarnya arus yang digunakan) untuk permukaan yang laju korosinya sedang ditentukan. Semakin tinggi kerapatan arus yang timbul, maka korosi akan semakin hebat begitupula sebaliknya (Threthewey, 1991). Ketika potensial pada logam terpolarisasi menggunakan arus pada arah positif, maka hal ini disebut sebagai terpolarisasi secara anodik. Apabila potensial pada permukaan

logam terpolarisasi menggunakan arus pada arah negatif, maka disebut terpolarisasi secara katodik.

Pada gambar 2.10 menjelaskan bahwa $E_{o,M}$ dan $E_{o,H}$ adalah open sirkuit potensial untuk logam dan hidrogen. Kemudian nilai $i_{o,H}$ dan $i_{o,M}$ adalah perubahan kerapatan arus dan i_L adalah kerapatan arus terbatas. Untuk elektroda yang *reversible*, Evans diagram dapat digunakan untuk menentukan titik korosi dimana garis antara katodik hidrogen dan anodik logam berpotongan. Disisi lain, perilaku elektrokimia yang tidak *reversible* ditunjukkan oleh katodik dan anodik dari Stern Diagram yang juga digunakan untuk menentukan titik korosi dengan ekstrapolasi sisi linear kedua kurva hingga berpotongan.



Gambar 2.12 Skema Kurva Polarisasi yang Menunjukkan Ekstrapolasi Tafel (Nestor Perez, 2004)



Gambar 2.13 Prinsip Kerja Potensiostat (Autolab Application Note EC08, 2011)

Berikut adalah persamaan yang akan digunakan dalam menentukan laju korosi dan laju kehilangan massa.

$$B = \frac{b_a b_c}{2,303 (b_a + b_c)} \dots\dots\dots(6)$$

dimana:

B = Stern-Geary constant (V)

b_a = slope of anodic Tafel reaction (V/decade)

b_c = slope of cathodic Tafel reaction (V/decade)

Setelah dilakukan perhitungan i_{cor} dengan persamaan dibawah ini.

$$i_{cor} = \frac{B}{R_p} \dots\dots\dots(7)$$

dimana:

i_{cor} = corrosion current density ($\mu A/cm^2$)

R_p = polarization resistance (Ωcm^2)

Kemudian dilakukan perhitungan *corrosion rate* dengan persamaan berikut.

$$CR = K_1 \frac{i_{cor}}{\rho} EW \dots\dots\dots(8)$$

dimana:

CR = corrosion rate (mpy)

$K_1 = 0,1288 \text{ (mpy g/ } \mu\text{A cm)}$

ρ = densitas logam (g/cm^3)

EW = equivalent weight (g/mol)

Setelah nilai *corrosion rate* diperoleh, maka mencari nilai *mass loss rate* dengan persamaan berikut ini.

$$MR = K_2 \cdot i_{cor} \cdot EW \dots\dots\dots(9)$$

dimana:

MR = mass loss rate ($\text{g/m}^2 \text{ d}$)

$K_2 = 8,954 \times 10^{-3} \text{ (g cm}^2/\mu\text{A m}^2 \text{ d)}$

2.15 Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)

Spektroskopi impedansi elektrokimia adalah suatu metode yang digunakan untuk mengetahui perilaku korosi pada suatu elektroda dengan mengamati karakterisasinya. Karakterisasi elektroda yang dimaksud adalah untuk menentukan ketahanan polarisasi (R_p), laju korosi (CR) dan mekanisme elektrokimia. Penggunaan metode ini berdasarkan model dari proses korosi oleh sirkuit elektrik. EIS bekerja berdasarkan respon terhadap sirkuit yang setara untuk *interface* elektroda/larutan. EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan unsur-unsur listrik seperti tahanan, R, kapasitansi, C, dan induktansi, L. Tahanan listrik dalam EIS dinyatakan dengan impedansi (Z). Impedansi adalah ukuran kemampuan suatu rangkaian dalam menahan arus listrik. Dalam impedansi, sinyal potensial dan arus AC berada dalam fasa yang berbeda, dan nilainya dipengaruhi oleh frekuensi. Impedansi elektrokimia diukur melalui potensial AC yang diterapkan pada sel elektrokimia untuk mengukur arus dengan asumsi bahwa potensial yang dibangkitkan sinusoidal. (Nestor Perez, 2004)

Impedansi dari sel elektrokimia, Z, ditentukan berdasarkan analogi dari hukum Ohm seperti di bawah ini. Dengan ω adalah frekuensi radial atau kecepatan sudut yang diterapkan (rad sec^{-1}).



$$Z(\omega) = \frac{E(t)}{I(t)} = Z'(\omega) + jZ''(\omega) \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$Y(\omega) = \frac{I(t)}{E(t)} = Y'(\omega) + jY''(\omega) \quad \dots\dots\dots(11)$$

dimana :

$E(t)$ = Potensial yang bergantung waktu (V)

$I(t)$ = Arus yang bergantung waktu (A)

ω = $2\pi f$ = frekuensi angular (Hz)

f = frekuensi sinyal (Hz)

$Z'(\omega), Y'(\omega)$ = bagian real

$Z''(\omega), Y''(\omega)$ = bagian imajiner

t = waktu (s)

j = $-1^{1/2}$

j^2 = -1

2.16 Hasil Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang pengaruh inhibitor korosi berbasis senyawa fenolik untuk proteksi pipa baja karbon rendah (API 5L) telah dilakukan oleh Alfin Al Hakim (2011). Dalam penelitiannya, ia menyatakan bahwa teh hijau dan daun sirih sebagai inhibitor organik dapat bekerja secara efektif dan efisien pada konsentrasi NaCl 3,5% yang mengandung gas CO₂ jenuh dengan lama perendaman 3 hari yaitu sebesar 73,94%. Hal ini dikarenakan senyawa fenol dari hasil ekstrak teh hijau dan daun sirih berikatan dengan logam Fe menjadi senyawa kompleks yang stabil. Senyawa kompleks yang terbentuk membentuk lapisan pada permukaan logam sehingga laju korosi pada logam baja menjadi lebih rendah.

2.16.1 Daun Asam Jawa

Asam jawa merupakan tanaman keras berumur panjang yang dapat mencapai umur hingga 200 tahun. Asam jawa berkhasiat untuk mengobati asma, batuk, demam, sakit panas, reumatik, sakit perut, morbili, alergi, sariawan, luka baru, eksim, dan sebagainya. Menurut percobaan yang dilakukan oleh Abdul Mu'in, dkk., mengenai karakterisasi ekstrak etanolik daun asam jawa (*Tamarindus Indica*) menyatakan bahwa ekstrak daun asam

jawa dengan cara maserasi dengan larutan metanol 50% mengandung senyawa flavonoid, tanin, glikosida, dan saponin melalui uji fitokimia yang dapat terlihat pada tabel 2.3. (Abdul Mun'in, 2009).

Tabel 2.6 Kandungan yang Terdapat pada Daun Asam Jawa

Golongan	Depok	Twangmangu	Bekasi
Flavonoid	+	+	+
Tanin	+	+	+
Glikosida	+/-	+/-	+/-
Saponin	+	+	+
Alkaloid	-	-	-

*) Semakin Banyak tanda (+) semakin banyak senyawa terdapat dalam sampel secara kualitatif

Kadar fenol total pada ekstrak daun asam jawa yang berasal dari Depok, Tawangmangu dan Bekasi berturut-turut adalah 0,35%, 8,24% dan 0,24%.

Sedangkan menurut percobaan yang dilakukan Ai Susanti, mengenai daya inhibisi ekstrak daun asam jawa dengan pelarut etanol 70% mempunyai daya inhibisi 49,0% pada konsentrasi 150 ppm. Dengan menggunakan pelarut etanol 70% daun asam jawa mempunyai kadar flavonoid total sebesar $0,03 \times 10^{-2}\%$ (b/b). (Ai Susanti, 2009)

2.16.2 Kulit Melinjo

Tanaman melinjo banyak ditanam di pekarangan sebagai peneduh atau pembatas pekarangan. Pohon melinjo memiliki perakaran kuat sehingga baik ditanam untuk pemulihan kembali areal kritis sehingga direkomendasikan sebagai tanaman penghijauan. Melinjo adalah sumber protein fungsional yang



cocok untuk dijadikan sebagai suplemen makanan, substansi yang punya manfaat bagi kesehatan, termasuk mencegah dan mengobati penyakit. Manfaat melinjo yaitu bisa mengusir radikal bebas, pemicu kanker dan melancarkan proses persalinan.

Telah dilakukan percobaan yang serupa untuk meneliti tentang kulit melinjo (*Gnetum Gnemon*). Pada percobaan yang dilakukan oleh Sri Wulandari, dkk. tentang ekstrak etanol kulit melinjo menyatakan bahwa kulit melinjo yang dimaserasi dengan larutan etanol 70% mengandung senyawa flavonoid, alkaloid, saponin, dan polifenol melalui uji fitokimia yang dapat terlihat pada tabel 2.5. Daya inhibisi dari kulit melinjo mentah dengan konsentrasi 100 ppm adalah sebesar 45,46-54,55%. (Sri Wulandari, 2012).

Tabel 2.7 Kandungan yang Terdapat pada Kulit Melinjo

Golongan	Tua Mentah	Tua Rebus	Muda Mentah	Muda Rebus
Flavonoid	+++	++	+++	++
Saponin	+	+++	+	+++
Tanin	-	-	-	-
Polifenol	++	+++	++	+++
Alkaloid	+	++	+	+++

*) Semakin Banyak tanda (+) semakin banyak senyawa terdapat dalam sampel secara kualitatif

Sedangkan menurut percobaan yang dilakukan oleh Nuri Arum Anugrahati, dkk. tentang karakterisasi aktivitas antioksidan dan antibakteri dari kulit melinjo menyatakan bahwa kapasitas antioksidannya adalah 689,293 mg/g ekstrak, kandungan fenolik dari ekstrak adalah 11,805 GAE/g dan kandungan vitamin C yaitu 1,153 mg. (Nuri Arum, 2011)



Sementara itu, Tagor M. Siregar, dkk. menyatakan bahwa ekstrak kulit melinjo merah menunjukkan nilai total fenolik, β -karoten, likopen, total karotenoid, dan vitamin C tertinggi. Ekstrak kulit melinjo kuning memiliki aktivitas antioksidan tertinggi dengan nilai IC₅₀ sebesar 16,73 mg. Ekstrak kulit melinjo hijau menunjukkan kandungan total flavonoid terbesar, yaitu 3,392 mg/g sampel. (Tagor M. Siregar, 2009)

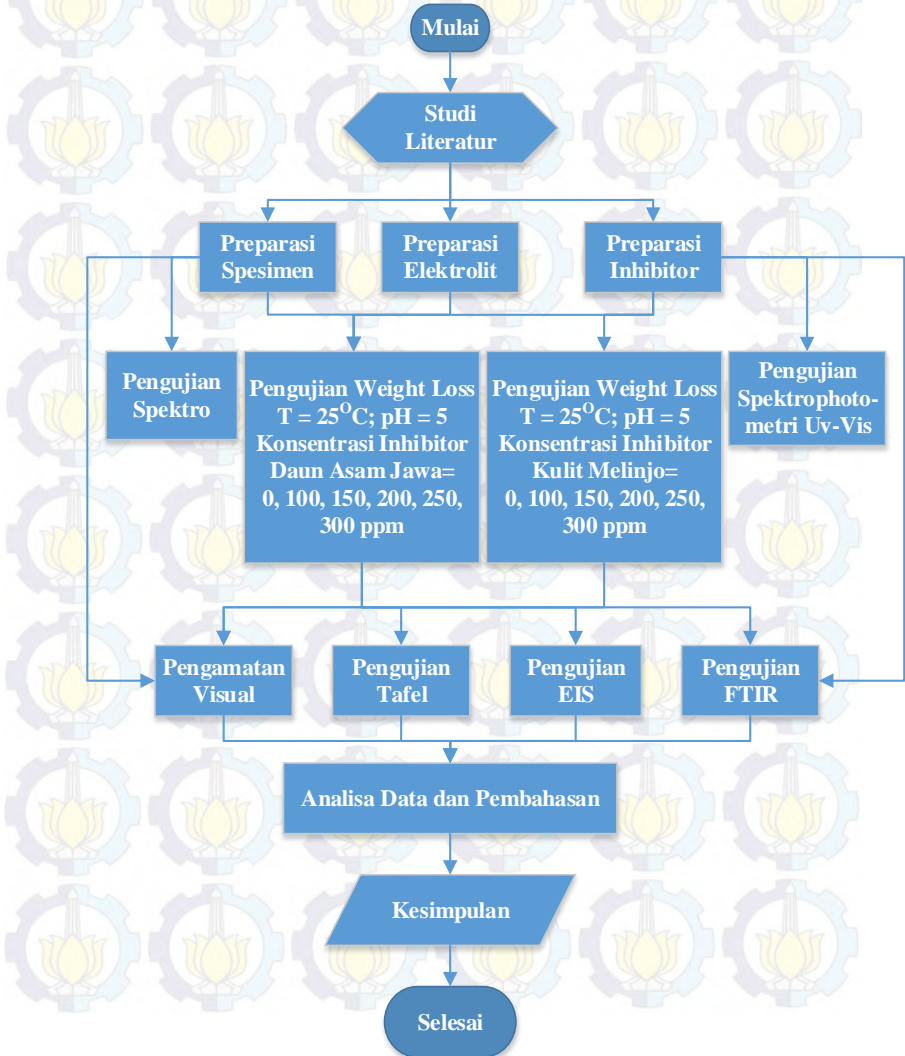


(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Metode Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan dengan metode penelitian sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur pada penelitian ini mengacu pada jurnal-jurnal dan buku dari situs-situs yang mempelajari tentang permasalahan korosi dan pencegahannya. Khususnya jurnal dan buku yang membahas mengenai korosi pada baja API 5L grade B pada media NaCl 3,5% di lingkungan asam pH 5, serta jurnal yang membahas tentang kandungan antioksidan dari ekstrak daun asam jawa dan ekstrak kulit melinjo sehingga dapat digunakan sebagai inhibitor untuk mencegah korosi.

2. Eksperimental

Eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini antara lain adalah pengujian *weight loss*, pengujian *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS), pengujian polarisasi tafel, dan pengujian *fourier transform infra red* (FTIR).

3.3 Alat Penelitian

Peralatan yang akan digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut :

1. Jangka sorong dan penggaris
2. Kertas gosok grade 80, 120, 240, 400, 800, 1200
3. Wadah plastik
4. Timbangan digital
5. Spatula
6. Mata Bor ϕ 3mm
7. Gelas Ukur
8. Pipet
9. Stik
10. Alat pengujian FTIR
11. Alat pengujian potensiotat
12. Blender
13. Benang kasur
14. Kamera digital



15. Ember
16. pH meter
17. Alat potong plat
18. Alat pengujian spektrometer

3.4 Bahan Penelitian

1. Material

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah baja API 5L grade B. Komposisi kimia dari baja API 5L grade B adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Komposisi Kimia API 5L Grade B

<i>Element</i>	<i>Max. (%)</i>
<i>Carbon</i>	0.28
<i>Manganese</i>	1.20
<i>Phosphorus</i>	0.03
<i>Sulfur</i>	0.03
<i>Silicon</i>	0.19

(*Specification for Line Pipe, 2004*)

2. HCl

HCl digunakan untuk proses pickling.

3. Larutan basa

Larutan basa digunakan untuk membilas spesimen setelah proses pickling.

4. Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit dibuat dengan mencampurkan NaCl ke dalam aquades sebanyak 3,5% dari total berat aquades, serta dikondisikan pada pH 5 dengan cara menambahkan CH₃COOH pada larutan NaCl.

5. Inhibitor

Inhibitor yang digunakan adalah ekstrak daun asam jawa dari daerah Gresik dan ekstrak kulit melinjo dari daerah Jogja.



3.5 Prosedur Penelitian

Pada penelitian kali ini dilakukan dua jenis penelitian yaitu, untuk pengujian laju korosi dan efisiensi inhibitor, serta pengujian mekanisme inhibisi. Penelitian ini dilakukan dengan variasi konsentrasi inhibitor 0 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, 250 ppm dan 300 ppm di lingkungan NaCl 3,5% pH 5. Untuk mengetahui laju korosi dan efisiensi inhibitorynya dilakukan pengujian *weight loss* dan polarisasi tafel. Sedangkan untuk mengetahui mekanisme inhibisi dilakukan pengujian polarisasi Tafel, pengujian EIS, pengujian *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), pengamatan secara visual dan dilakukan pendekatan perhitungan adsorpsi isothermal Langmuir.

3.5.1 Preparasi Baja

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja API 5L grade B. Baja ini berbentuk pipa silindris yang kemudian dipotong menjadi pelat dengan ukuran 20x20x3 mm dan dilubangi menggunakan bor lalu dikaitkan dengan menggunakan benang kasur. Lapisan coating pada baja ini dihilangkan dengan cara pickling menggunakan HCl selama 5 menit lalu dibilas dengan menggunakan larutan basa.



Gambar 3.2 Spesimen Baja API 5L grade B

3.5.2 Preparasi Inhibitor

Proses pembuatan inhibitor dari tanaman atau buah-buahan untuk perlindungan terhadap korosi perlu melewati beberapa tahap, salah satunya adalah proses ekstraksi dari tanaman atau buah-



buahan tersebut. Proses ekstraksi pada penelitian ini menggunakan cara maserasi. Maserasi adalah cara ekstraksi dengan merendam tanaman yang telah dikeringkan dan dihancurkan sehingga menjadi seperti serbuk dengan menggunakan pelarut.

- **Daun Asam Jawa**

Daun asam jawa dibersihkan dari pengotor lalu dikeringkan. Kemudian setelah kering dijadikan serbuk dengan menggunakan blender. Setelah itu serbuk ditimbang sebanyak 200 gram, kemudian dimaserasi dengan methanol 50%. Proses maserasi dilakukan selama 24 jam dengan beberapa kali pengocokan selama 6 jam pertama, kemudian didiamkan selama 18 jam. Maserat kemudian disaring, residu dimaserasi sebanyak 4 kali. Lalu filtrat di pekatkan dengan vakum evaporator hingga menjadi ekstrak kental.

- **Kulit Melinjo**

Proses ekstraksi kulit melinjo tidak jauh beda dengan ekstraksi daun asam jawa. Buah melinjo dicuci, lalu dipisahkan dengan kulitnya. Kemudian kulit buah melinjo dikeringkan dan diblender hingga menjadi serbuk. Serbuk kulit melinjo kemudian dimaserasi selama 24 jam dengan perbandingan sampel dan etanol 70% sebesar 1:5 sambil sesekali diaduk. Maserat yang diperoleh selanjutnya dipekatan dengan rotary evaporator hingga diperoleh ekstrak kental.

3.5.3 Preparasi Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan NaCl 3,5% yang dikondisikan pada pH 5. Berikut adalah langkah-langkah untuk membuat larutan NaCl 3,5% pH 5:

1. Menimbang kristal NaCl sebanyak 35,245 gram.
2. Melarutkan kristal NaCl ke dalam gelas breaker dengan aquades sebanyak 1000 ml, sehingga diperoleh konsentrasi NaCl 3,5%.
3. Menambah CH_3COOH sebanyak 0,5 mL hingga pH menjadi 5



3.6 Pengujian

3.6.1 Pengujian Spektro Baja API 5L grade B

Bertujuan untuk menentukan komposisi kimia pada Baja API 5L Grade B. Pengujian ini dilakukan pada PT. Barata Indonesia dengan alat *spektroanalyzer unit foundry* Gresik.

3.6.2 Pengujian Spektrophotometri UV-Vis Ekstrak

3.6.2.1 Flavonoid Total

Bertujuan untuk menentukan kadar flavonoid total didalam ekstrak daun asam jawa dan kulit melinjo. Pengujian ini dilakukan di Unit Layanan Pengujian Universitas Airlangga Surabaya. Langkah-langkah pengujian Spektrofotometri adalah sebagai berikut:

A. Preparasi Sampel

1. Timbang seksama 1g bahan baku, masukkan ke dalam labu alas bulat.
2. Tambahkan 1,0 mL larutan 0,5% (b/v) hexamethylenetetramine, 20 ml aseton dan 2,0 ml HQ 25% (b/v), refluks selama 2 jam sejak mendidih.
3. Saring campuran menggunakan kapas ke dalam labu ukur 100 ml.
4. Bilas kapas dengan aseton, tambahkan aseton sampai 100 ml, kocok homogen.
5. Masukkan 20 ml filtrat ke dalam corong pisah, tambahkan 20 ml air.
6. Tambahkan 15 ml etil asetat, kocok 10 menit, biarkan memisah.ambil fase etil asetat,
7. Lanjutkan ekstraksi (3x) masing-masing dengan 10 ml etil asetat.
8. Gabung fase etil asetat, cuci 2x masing-masing dengan 50 ml air.
9. Masukkan hasil ekstraksi ke dalam labu ukur 50 ml.
10. Tambahkan etil asetat sampai garis tanda, kocok homogen.



B. Prosedur penetapan kadar :

1. Masukkan 10,0 ml fraksi etil asetat ke dalam labu ukur 25 ml .
2. Tambahkan 1 ml larutan AlCl_3 (2 g dalam 100 ml asamasetat glasial - metanol(5+95)) .
3. Tambahkan asamasetat glasial-metanol (5+95) sampai tanda batas volume.

C. Larutan blanko:

1. 10 mL larutan fraksi etil asetat masukkan ke dalam labu ukur 25 ml.
2. Tambahkan larutan asam asetat glasial-metanol (5+95) sampai tanda batas volume.

D. Pengukuran :

1. Diamkan larutan sampel selama 30 menit,scan antara 300-500 nm.
2. Ukur absorbansi larutan pada λ maksimum (± 425 nm).

Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menentukan total flavonoid dari sample.

$$\% \text{ Flavonoid} = \text{Absorbansi sample} \times 1,25/\text{g sample} \dots\dots(3.1)$$

3.6.2.2 Tannin Total

Bertujuan untuk menentukan kadar tannin total didalam ekstrak daun asam jawa. Pengujian ini dilakukan di Unit Layanan Pengujian Universitas Airlangga Surabaya. Langkah-langkah pengujian Spektrofotometri adalah sebagai berikut:

A. Prosedur Pembuatan Kurva Baku

1. Dibuat larutan baku Tanin dengan kadar 5 sampai 40 ppm (Pelarut H_2O)
2. Maing-masing kadar dipipet 1,0 mL dimasukkan ke dalam vial
3. Kemudian tambahkan 0,5 mL Folin-Ciocalteu
4. Diamkan selama 5 menit, kemudian tambahkan 2 mL 10% larutan Natriumkarbonat



5. Diamkan 10 menit sebelum diukur absorbansinya (pada $\lambda = 770 \text{ nm}$)

B. Prosedur Preparasi Sampel :

1. Dipipet 25 μL ad10 mL
2. Dipipet 1,0 mL aliquot, masukkanke dalam vial
3. Kemudian tambahkan 0,5 mL Folin-Ciocalteu
4. Diamkan 5 menit, kemudian tambahkan 2 mL 10% larutan Natriumkarbonat
5. Diamkan 10 menit sebelum diukur absorbansinya (pada $\lambda = 770 \text{ nm}$)

3.6.3 Pengujian *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Pengujian FTIR digunakan untuk mengetahui gugus-gugus fungsi yang terdapat pada inhibitor ekstrak daun asam jawa dan ekstrak kulit melinjo dan baja API 5L grade B yang telah dilakukan perendaman dengan uji *weight loss*. Pengujian ini dilakukan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS dengan menggunakan alat Thermo Scientific Nicolet IS10. Metode spektroskopi yang digunakan dalam pengujian FTIR adalah metoda absorpsi yaitu suatu metoda yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmisian cahaya yang melewati *sample*, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang. Dari panjang gelombang tersebut, akan dapat ditentukan gugus fungsi yang bersesuaian dengan panjang gelombang yang terekam pada masing-masing sampel. Dengan melakukan pengujian FTIR akan dihasilkan kurva *peak* atau gelombang dengan intensitas yang berbeda-beda dari perbedaan *peak* tersebut maka dapat ditentukan gugus fungsinya sehingga diketahui kandungan (tipe senyawa) yang terkandung dalam masing masing sampel.



Gambar 3.3 Alat Pengujian FTIR

3.6.4 Pengujian *Weight Loss*

Pengujian weight loss bertujuan untuk mengetahui laju korosi pada baja API 5L grade B di lingkungan NaCl 3,5% pH 5 dengan variasi konsentrasi penambahan inhibitor ekstrak daun asam jawa dan ekstrak kulit melinjo. Konsentrasi inhibitor yang digunakan sebesar 0, 100, 150, 200, 250 dan 300 ppm dengan waktu perendaman selama 7, 14 dan 21 hari. Pengujian ini dilakukan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS.

Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian ini adalah:

- Weight loss tanpa penambahan inhibitor
 1. Menyiapkan wadah plastik untuk tempat perendaman spesimen.
 2. Menyiapkan 3 spesimen baja API 5L grade B dengan dimensi 20x20x3 mm.
 3. Melakukan penimbangan awal pada masing-masing spesimen.
 4. Memasukkan larutan elektrolit ke dalam wadah plastik.
 5. Merendam baja API 5L grade B ke dalam elektrolit.
 6. Spesimen pertama direndam selama 7 hari, kemudian dilakukan penimbangan.



7. Spesimen kedua direndam selama 14 hari, kemudian dilakukan penimbangan.
 8. Spesimen ketiga direndam selama 21 hari, kemudian dilakukan penimbangan.
 9. Melakukan pengambilan gambar dan uji FTIR.
- Weight loss dengan penambahan inhibitor
 1. Menyiapkan wadah plastik untuk tempat perendaman spesimen.
 2. Menyiapkan 3 spesimen baja API 5L grade B dengan dimensi 20x20x3 mm.
 3. Melakukan penimbangan awal pada masing-masing spesimen.
 4. Memasukkan larutan elektrolit ke dalam wadah plastik.
 5. Memasukkan inhibitor dengan konsentrasi yang sudah ditentukan.
 6. Merendam baja API 5L grade B ke dalam campuran elektrolit dan inhibitor.
 7. Spesimen pertama direndam selama 7 hari, kemudian dilakukan penimbangan.
 8. Spesimen kedua direndam selama 14 hari, kemudian dilakukan penimbangan.
 9. Spesimen ketiga direndam selama 21 hari, kemudian dilakukan penimbangan.
 10. Melakukan pengambilan gambar dan uji FTIR.



Gambar 3.4 Pengujian *Weight Loss*

3.6.5 Pengujian Polarisasi Tafel

Sebelum pengukuran baja API 5L Grade B dalam media uji dengan metode Tafel, terlebih dahulu dilakukan pengaturan seperti pada Tabel 3.2. Pengaturan ini dilakukan untuk semua variasi sampel untuk mendapatkan data pengujian laju korosi. Pengujian tafel ini menggunakan alat Autolab PGT84270. Baja API 5L grade B pada pengujian ini berdimensi 20 x 20 x 3 mm yang kemudian dicelupkan ke larutan elektrolit sebesar luas permukaan terbuka 20 x 10 mm. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Elektrokimia dan Korosi Jurusan Teknik Kimia ITS.

Tabel 3.2 Uji Korosi dengan Metode Tafel

Elektrode Kerja	API 5L Grade B
<i>Equivalent Weight (g)</i>	27.925
Densitas (g/ml)	7.85
Luasan Terekspos (cm ²)	5.8 dan 5.54
<i>Counter Electrode</i>	Platina
<i>Reference Electrode</i>	KCl
<i>Scan Rate (V/s)</i>	0.001
<i>Sweep Range</i>	0.1 – 1000
<i>Start Potential (V)</i>	-0.3 vs E _{corr}
<i>Finish Potential (V)</i>	+0.3 vs E _{corr}

Prosedur pengujian polarisasi potensiodinamik adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen baja API 5L grade B dengan *surface* kontak sebesar 20 mm x 10 mm dan larutan elektrolit NaCl 3,5% pH 5 dan penambahan inhibitor.
2. Memasukkan larutan elektrolit kedalam gelas sebanyak 100 ml.
3. Memasang elektroda kerja pada rangkaian alat polarisasi.
4. Menjalankan pengujian polarisasi dengan bantuan software AUTOLAB.



3.6.6 Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)

Pengujian EIS dilakukan dengan cara menjepit spesimen baja API 5L grade B pada alat uji EIS dan dianalisa dengan menggunakan software Autolab PGT84948 yang terdiri dari elektroda kerja, elektroda acuan dan elektroda bantu. Electrochemical Impedance Spectroscopy adalah suatu metode untuk menganalisis respon suatu electrode yang terkorosi terhadap sinyal potensial AC sebagai fungsi frekuensi. Metode EIS dimaksudkan untuk mengetahui inhibisi pada logam dengan inhibitor apakah secara kinetika dikontrol oleh transfer muatan ataukah transfer massa. Pada prinsipnya EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan elemen-elemen listrik seperti tahanan, R , kapasitansi, C , dan induktansi, L . Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian EIS dengan variasi media korosif NaCl 3,5% serta konsentrasi inhibitor ampas anggur pada efisiensi tertinggi yang didapatkan dari metode *weight loss*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Elektrokimia dan Korosi Jurusan Teknik Kimia ITS.

Pengujian elektrokimia Tafel dan EIS memiliki langkah – langkah pengujian yang sama, yaitu sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen baja API 5L grade B dengan *surface* kontak sebesar 20 mm x 10 mm dan larutan elektrolit NaCl 3,5% pH 5 dan penambahan inhibitor.
2. Memasukkan larutan elektrolit kedalam gelas sebanyak 100 ml.
3. Memasang elektroda kerja pada rangkaian alat polarisasi.
4. Menjalankan pengujian polarisasi dengan bantuan software AUTOLAB.

3.7 Rancangan Tabel Pengambilan Data Penelitian

Untuk memudahkan dalam mengolah dan menganalisa data yang didapat, maka dibuat rancangan percobaan sebagai berikut :



Tabel 3.3 Tabel Pengujian Weight Loss

INHIBITOR DAUN ASAM JAWA / KULIT MELINJO							
7 HARI							
KONSENTRASI (mg/L)		BERAT AWAL	BERAT AKHIR	SELISIH	LAJU KOROSI	RATARATA	EFISIENSI
0	1						
	2						
	3						
100	1						
	2						
	3						
150	1						
	2						
	3						
200	1						
	2						
	3						
250	1						
	2						
	3						
300	1						
	2						
	3						
14 HARI							
KONSENTRASI (mg/L)		BERAT AWAL	BERAT AKHIR	SELISIH	LAJU KOROSI	RATARATA	EFISIENSI
0	1						



	2						
	3						
100	1						
	2						
	3						
150	1						
	2						
	3						
200	1						
	2						
	3						
250	1						
	2						
	3						
300	1						
	2						
	3						
21 HARI							
KONSEN TRASI (mg/L)		BERAT AWAL	BERAT AKHIR	SELI SIH	LAJU KORO SI	RA TA- RA TA	EFISI ENSI
0	1						
	2						
	3						
100	1						
	2						
	3						
150	1						
	2						



200	3					
	1					
	2					
	3					
250	1					
	2					
	3					
300	1					
	2					
	3					

Tabel 3.4 Tabel Pengujian Polarisasi Tafel

Jenis Larutan	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	-E (I=0) (mV/SC E)	I _{corr} (μA/cm ²)	CR (mpy)	CR (mm/year)	%IE
X	Y					

Tabel 3.5 Tabel Pengujian EIS

Medium	Inhibitor (ppm)	R _s (kΩ.cm ²)	CPE (N)	CPE Y (μMho)	R _p (kΩ.cm ²)
NaCl 3,5% pH 5					



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang sesuai prosedur penelitian pada bab sebelumnya diperoleh sejumlah data berupa: komposisi kimia baja API 5L Grade B dengan uji Spektro, kadar flavonoid total pada ekstrak daun asam jawa dan ekstrak kulit melinjo dengan uji spektrophotometri, senyawa yang terkandung pada masing-masing ekstrak serta pada permukaan spesimen dengan uji FTIR, laju korosi dan efisiensi inhibisi dengan uji *weight loss* dan tafel polarisasi, serta mekanisme inhibisi dengan uji EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*).

4.1.1 Hasil Pengujian Spektro Baja API 5L Grade B

Pengujian ini dilakukan di PT. Barata Indonesia dengan *spekโตรanalyzer unit foundry* Gresik. Berikut adalah komposisi kimia dari baja API 5L Grade B:

Tabel 4.1 Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B

Unsur	Komposisi (%)
C	0,116
Si	0,222
Mn	0,379
P	0,0289
S	0,0076
Cu	0,0092
Ni	0,0073
Cr	0,0331
Mo	0,0027
Al	0,0023
Fe	99,1

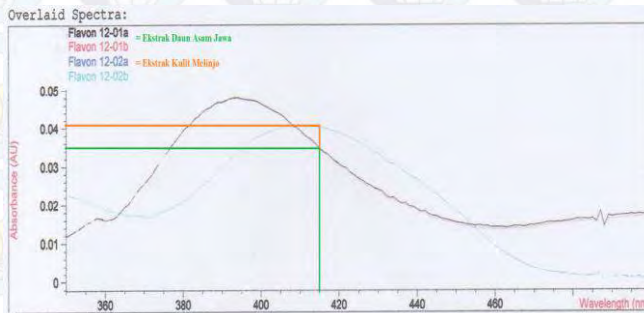


Dari pengujian spectrometer, baja API 5L grade B tergolong ke dalam *low carbon steel* dikarenakan kadar karbon kurang dari 0,30%. Unsur tambahan dalam baja berguna untuk memperbaiki sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi. Unsur paduan silicon (Si) mempengaruhi sifat mekanik yaitu menaikkan kekuatan serta kekekerasan material bila kadarnya lebih dari 0,4%. Unsur paduan mangan (Mn) dapat menambah kekuatan dan keuletan dari struktur baja, namun kandungan mangan yang kurang dari 0,6% tidak memberikan pengaruh besar pada struktur baja. Baja API 5L grade B ini hanya memiliki kadar silicon sebesar 0,222% dan kadar mangan sebesar 0,379%. Unsur paduan chrom pada baja API 5L grade B hanya sebesar 0,0331%. Kadar chrom yang sangat sedikit ini tidak begitu baik dalam hal ketahanan korosi, dimana untuk memiliki sifat tahan korosi yang baik dibutuhkan penambahan unsur paduan chrom sedikitnya 5%.

4.1.2 Hasil Pengujian Spektrophotometri UV-Vis

4.1.2.1 Flavonoid Total

Ekstrak kental dari masing-masing inhibitor diuji spektrophotometri UV-Vis untuk mengetahui kadar flavonoid total. Berikut adalah overlaid spectra dari ekstrak daun asam jawa dan kulit melinjo yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Overlaid Spectra pada Inhibitor Daun Asam Jawa dan Inhibitor Kulit Melinjo



Pengujian spektrophotometri mengambil panjang gelombang pada 415 nm. Pengujian ini dilakukan pengulangan dua kali pada panjang gelombang yang sama dan menghasilkan hasil seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Total Flavonoid pada Inhibitor

Gram Sample	Absorbansi	% Flavonoid
Inhibitor Daun Asam Jawa		
1,0061	0,03471	0,04
1,0091	0,03439	0,04
Rata-rata		0,04
Inhibitor Kulit Melinjo		
1,0081	0,04009	0,05
1,0049	0,04022	0,05
Rata-rata		0,05

Perhitungan nilai total flavonoidnya menggunakan persamaan 3.1 seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

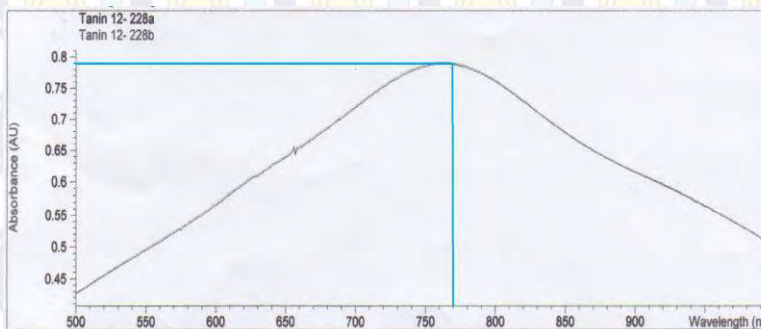
Dari tabel 4.2, pada inhibitor daun asam jawa dengan jumlah sample seberat 1,0061 gram nilai absorbansinya adalah 0,03471 maka diperoleh total flavonoidnya sebesar 0,04%. Sedangkan pada pengulangan sample berikutnya digunakan 1,0091 gram dan absorbansinya adalah 0,03439 maka diperoleh total flavonoidnya sebesar 0,04%. Dari kedua flavonoid tersebut didapatkan rata-ratanya adalah 0,04%.

Pada inhibitor kulit melinjo dengan jumlah sample seberat 1,0081gram nilai absorbansinya 0,04009 maka diperoleh total flavonoidnya sebesar 0,05%. Sedangkan pada pengulangan sample berikutnya menggunakan sample seberat 1,0049 gram dan nilai absorbansinya 0,04022 serta nilai total flavonoidnya sebesar 0,05%. Dari kedua flavonoid tersebut didapatkan rata-ratanya adalah 0,05%.



4.1.2.2 Tannin Total

Ekstrak kental dari inhibitor daun asam jawa diuji spektrophotometri UV-Vis untuk mengetahui kadar tannin total. Hal ini dilakukan karena menurut penelitian sebelumnya, ekstrak daun asam jawa mengandung senyawa flavonoid dan tannin. Berikut adalah overlaid spectra dari ekstrak daun asam jawa dan kulit melinjo yang ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Overlaid Spectra pada Inhibitor Daun Asam Jawa

Pengujian spektrophotometri mengambil panjang gelombang pada 770 nm. Pengujian ini dilakukan pengulangan dua kali pada panjang gelombang yang sama dan menghasilkan hasil seperti pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Total Tannin pada Inhibitor Daun Asam Jawa

Volume Sample (mL)	Ad Volume (mL)	Abs	Concentra- tion (ppm)	Kadar Tannin % (b/v)
Inhibitor Daun Asam Jawa				
0,025	10,0	0,78930	28,664	1,15
0,025	10,0	0,79034	28,752	1,15
Rata-rata				1,15

Dari tabel 4.3, pada inhibitor daun asam jawa dengan jumlah volume sample sebesar 0,025 mL nilai absorbansinya

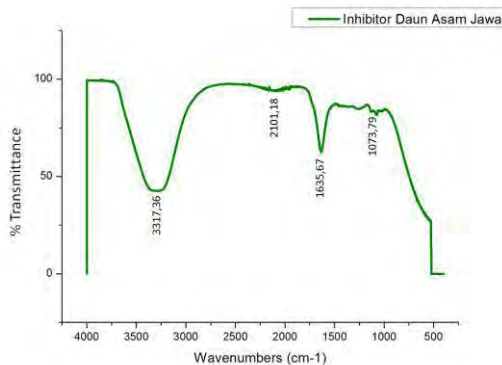
adalah 28,664 maka diperoleh total kadar tanninnya adalah sebesar 1,15 % (b/v). Sedangkan pada pengulangan sample berikutnya digunakan volume sample sebesar 0,025 mL dan absorbansinya adalah 0,79034 maka diperoleh total kadar tanninnya sebesar 1,15 % (b/v). Dari kedua total kadar tannin tersebut maka diperoleh rata-ratanya sebesar 1,15 % (b/v).

4.1.3 Hasil Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan pada masing-masing ekstrak dan spesimen yang telah direndam, kemudian didapatkan kurva FTIR yang kemudian dibandingkan antara keduanya untuk mengetahui senyawa organik yang berfungsi sebagai penghambat laju korosi. Berikut adalah analisa dari masing-masing pengujian FTIR dengan penambahan kedua inhibitor tersebut. Analisa ini berdasarkan referensi “*A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry*” oleh B. D. Mistry (2009).

4.1.3.1 Hasil Pengujian FTIR pada Inhibitor Daun Asam Jawa

Pada penelitian sebelumnya mengatakan bahwa daun asam jawa mengandung senyawa antioksidan yaitu flavonoid dan tannin yang merupakan senyawa yang dapat menghambat laju korosi. Berikut adalah analisis dari hasil FTIR ekstrak daun asam jawa yang dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Spektrum FTIR Ekstrak Daun Asam Jawa

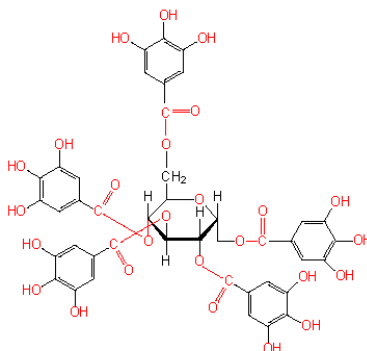


Dari gambar 4.3 mengenai spektrum FTIR ekstrak daun asam jawa terdapat beberapa peak. Peak ini masing-masing memiliki nilai frekuensi yang akan dihubungkan dengan range frekuensi yang akan dihubungkan dengan range frekuensi pada referensi.

Tabel 4.4 Hasil FTIR Ekstrak Daun Asam Jawa

No.	Wavelength (cm ⁻¹)	Daerah Wavelength (cm ⁻¹)	Tipe Senyawa	Gugus Fungsi
1.	3317,36	3300-2500	R-COOH, bonded OH	O-H str.
2.	2101,18	2140-2100	Alkynes (RC≡CH)	C≡C str.
3.	1635,67	1640-1535	Ketones (- CO-CH ₂ - CO or -CO- C=C-OH)	C=O str.
4.	1073,79	1075-1000	Alcohols and phenols Primary C- O-H	C-O str.

Keterangan : str. = stretching; def. = deformation

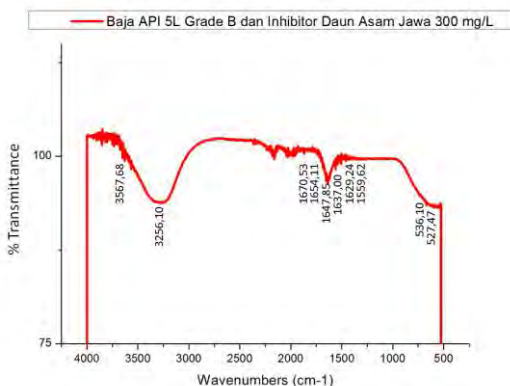


Gambar 4.4 Gugus Fungsi Senyawa Tannin

Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengujian FTIR dari ekstrak daun asam jawa. Ikatan pada $3317,36\text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas kuat dan bentuk pita lebar menunjukkan senyawa R-COOH gugus fungsi O-H. Ikatan pada $2101,18\text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas lemah menunjukkan senyawa alkynes gugus fungsi C=C. Ikatan pada $1635,67\text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas kuat dan bentuk pita melebar menunjukkan senyawa ketones ($-\text{CO}-\text{CH}_2-\text{CO}$ or $-\text{CO}-\text{C}=\text{C}-\text{OH}$) gugus fungsi C=O. Ikatan pada $1073,79\text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas kuat menunjukkan senyawa alkohol dan phenol gugus fungsi C-O. Adanya gugus O-H, C=O, C=C, C-O mengidentifikasi suatu senyawa flavonoid. Hal ini diperkuat berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Akbar, 2010) sesuai dengan hasil spektrum infra merah adanya gugus fungsi O-H, C=O, C-O, C=C aromatik, dan C-H alifatik yang mendukung bahwa isolatnya positif suatu senyawa flavonoid. Namun gugus O-H, C=O dan C-O juga menunjukkan gugus tannin seperti pada gambar 4.4.

4.1.3.2 Hasil Pengujian FTIR pada Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Asam Jawa

Spektrum FTIR pada baja API 5L grade B dengan penambahan inhibitor daun asam jawa sebanyak 300 mg/L ke dalam larutan NaCl 3,5% pH 5 maka didapatkan frekuensi peak seperti gambar 4.4. Frekuensi peak ini dihubungkan dengan range frekuensi pada referensi, sehingga dapat diketahui senyawa yang terbentuk pada permukaan baja tersebut.



Gambar 4.5 Spektrum FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Asam Jawa 300 mg/L

Dari gambar 4.5 mengenai spektrum FTIR baja API 5L grade B dengan penambahan inhibitor daun asam jawa terdapat beberapa peak. Peak ini masing-masing memiliki nilai frekuensi yang akan dihubungkan dengan range frekuensi yang akan dihubungkan dengan range frekuensi pada referensi.

Tabel 4.5 Hasil FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Asam Jawa 300 mg/L

No.	Wavelength (cm ⁻¹)	Daerah wavelength (cm ⁻¹)	Tipe Senyawa	Gugus Fungsi
1.	3567,68	3595-3425	R-OH, Ar-OH, intramolecular hydrogen bonded	O-H str.
2.	3256,10	3300-2500	R-COOH, bonded OH	O-H str.

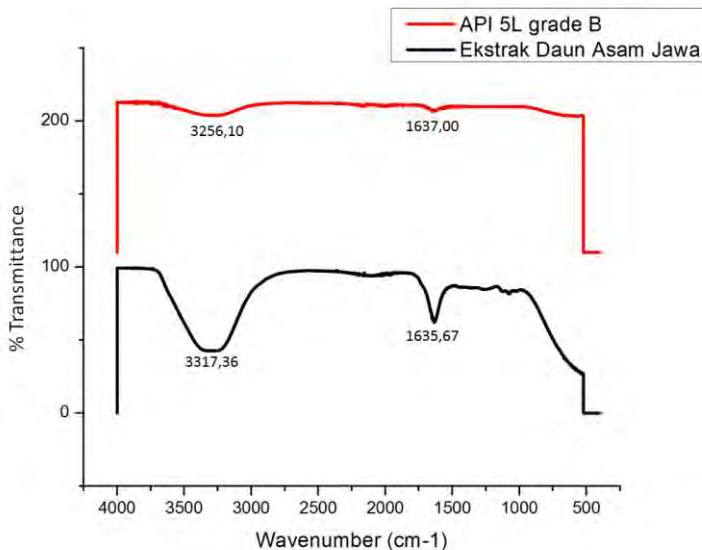


No.	Wavelength (cm^{-1})	Daerah wavelength (cm^{-1})	Tipe Senyawa	Gugus Fungsi
3.	1670,53	1675-1665	Alkenes, $\text{CR}_1\text{R}_2=\text{CHR}_3$	C=C str.
4.	1654,11	1670-1645	Intramolecular H-bonded	C=O str.
5.	1647,85	1650-1580	Amides	NH def.
6.	1637,00	1640-1535	Ketones (-CO- $\text{CH}_2\text{-CO}$ or - CO-C=C-OH)	C=O str.
7.	1629,24	1630-1575	Azo compounds	N=N str.
8.	1559,62	1600-1575	α , α - dihalogenonitro compounds	NO_2 str.
9.	536,10	Ca. 500	Iodides	C-I str.
10.	527,47	Ca. 500	Iodides	C-I str.

Tabel 4.5 menunjukkan hasil pengujian FTIR dari penambahan inhibitor daun asam jawa. Ikatan pada $3567,68 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa intramolecular hydrogen bonded gugus fungsi O-H. Ikatan pada $3256,10 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas lemah menunjukkan senyawa R-COOH bonded OH gugus fungsi O-H. Ikatan pada $1670,53 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa alkenes gugus fungsi C=C. Ikatan pada $1654,11 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa intramolecular H-bonded gugus fungsi C=O. Ikatan $1647,85 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa amides gugus fungsi NH. Ikatan $1637,00 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa ketones gugus fungsi C=O. Ikatan $1629,24 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa azo



compounds gugus fungsi N=N. Ikatan $1559,62\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa α , α -dihalogenonitro compounds gugus fungsi NO_2 . Ikatan $536,10\text{ cm}^{-1}$ dan $527,47\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa iodides gugus fungsi C-I.



Gambar 4.6 Gabungan Spektrum FTIR Inhibitor Daun Asam Jawa dan Baja API 5L Grade B

Dari gambar 4.6 terlihat bahwa terdapat beberapa peak dari baja yang konturnya hampir sama dengan peak pada inhibitor daun asam jawa. Beberapa peak yang sama tersebut menunjukkan tingkat adsorpsi permukaan baja terhadap inhibitor daun asam jawa, dimana adsorpsi ini berfungsi sebagai pembentuk lapisan proteksi terhadap serangan korosi. Walaupun sekilas terlihat sedikit peak yang sama, tetapi bila diamati dari sisi frekuensi peak masing-masing didapatkan data seperti pada tabel 4.6. Data dibawah ini menunjukkan senyawa-senyawa yang teradsorpsi pada permukaan baja API 5L grade B yang memungkinkan untuk menghambat laju korosi.



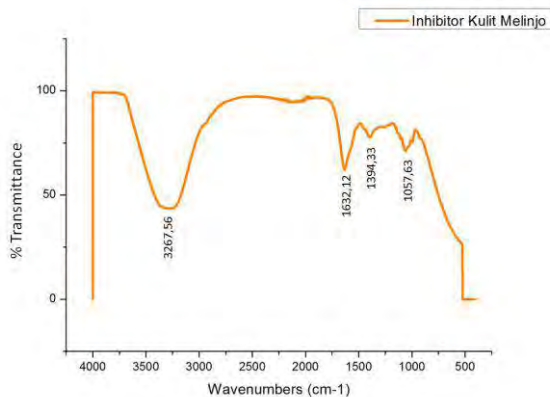
Tabel 4.6 Perbandingan Hasil FTIR Baja API 5L Grade B pada Penambahan Inhibitor Daun Asam Jawa

No.	Gugus Fungsi	Tipe Senyawa	Daerah wavelength (cm ⁻¹)	Inhibitor Daun Asam Jawa	Baja API 5L Grade B
1.	O-H str.	R-COOH, bonded OH	3300-2500	3317,36	3256,10
2.	C=C str.	Alkynes (RC=CH)	2140-2100	2101,18	
3.	C=O str.	Ketones (-CO-CH ₂ -CO or -CO-C=C-OH)	1640-1535	1635,67	1637,00
4.	C-O str.	Alcohols and phenols Primary C-O-H R-OH, Ar-OH,	1075-1000	1073,79	
5.	O-H str.	intramolecular hydrogen bonded	3595-3425		3567,68
7.	C=C str.	Alkenes, CR ₁ R ₂ =CHR ₃	1675-1665		1670,53
8.	C=O str.	Intramolecular H-bonded	1670-1645		1654,11
9.	NH def.	Amides	1650-1580		1647,85
10.	N=N str.	Azo compounds	1630-1575		1629,24
11.	NO ₂ str.	α, α-dihalogenonitro compounds	1600-1575		1559,62
12.	C-I str.	Iodides	Ca. 500		536,10
13.	C-I str.	Iodides	Ca. 500		527,47

Dari tabel 4.6 diperoleh senyawa R-COOH, bonded OH dan ketones terdapat pada kedua spektrum, sehingga inhibitor daun asam jawa ini memungkinkan untuk menghambat laju korosi dengan cara membentuk senyawa seperti yang telah disebutkan diatas.

4.1.3.3 Hasil Pengujian FTIR pada Inhibitor Kulit Melinjo

Pada penelitian sebelumnya mengatakan kulit melinjo mengandung senyawa antioksidan yaitu flavonoid dan polifenol yang merupakan senyawa yang baik dalam menghambat laju korosi. Berikut adalah analisis dari hasil FTIR ekstrak kulit melinjo yang dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Spektrum FTIR Ekstrak Kulit Melinjo

Pada gambar 4.7 mengenai spektrum FTIR ekstrak kulit melinjo terdapat beberapa peak. Peak ini masing-masing memiliki nilai frekuensi yang akan dihubungkan dengan range frekuensi pada referensi.

Tabel 4.7 Hasil FTIR Ekstrak Kulit Melinjo

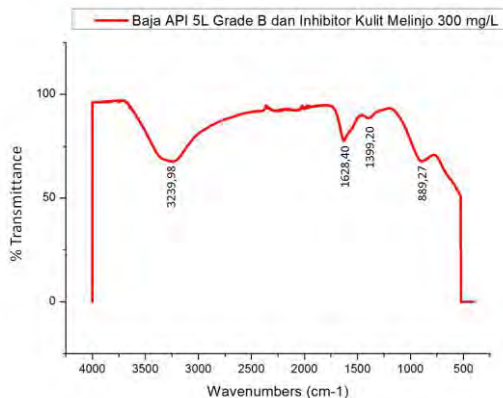
No.	Wavelength (cm ⁻¹)	Daerah Wavelength (cm ⁻¹)	Tipe	Gugus Fungsional
1.	3267,56	3550-3205	Ketones	C=O overtone
2.	1632,12	1660-1580	Alkenes conj. With C=O or C=C	C=C str.
3.	1394,33	1410-1310	Alcohols and phenols Phenols	O-H def.
4.	1057,63	1175-1045	Carbonyl compounds Anhydrides Acyclic	C-O str.

Keterangan : str. = stretching; def. = deformation

Tabel 4.7 menunjukkan hasil pengujian FTIR dari ekstrak kulit melinjo. Ikatan pada $3267,56\text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas lemah menunjukkan senyawa ketones gugus fungsi C=O. Ikatan pada $1632,12\text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas kuat menunjukkan senyawa alkenes gugus fungsi C=C. Ikatan pada $1394,33\text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas kuat menunjukkan senyawa alkohol dan phenol gugus fungsi O-H. Ikatan pada $1057,63\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa carbonyl compounds gugus fungsi C-O. Adanya gugus O-H, C=O, C-O, dan C=C menunjukkan senyawa flavonoid. Hal ini diperkuat dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Asih Astiti, 2009) yang menyatakan adanya senyawa flavonoid golongan flavanon yang mempunyai gugus fungsi OH, C=O, C-O, dan C=C.

4.1.3.4 Hasil Pengujian FTIR pada Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Kulit Melinjo

Spektrum FTIR pada baja API 5L grade B dengan penambahan inhibitor kulit melinjo sebanyak 300 mg/L ke dalam larutan NaCl 3,5% pH 5 didapatkan frekuensi peak seperti gambar 4.8. Frekuensi peak ini dihubungkan dengan range frekuensi pada referensi, sehingga dapat diketahui senyawa yang terbentuk pada permukaan baja tersebut.



Gambar 4.8 Spektrum FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Kulit Melinjo 300 mg/L

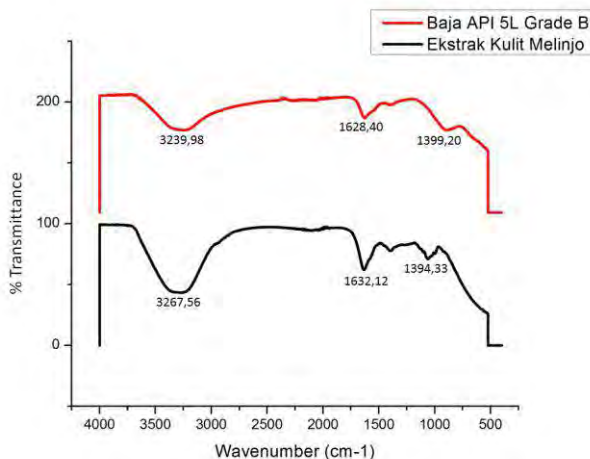


Dari gambar 4.8 mengenai spektrum FTIR baja API 5L grade B dengan penambahan inhibitor kulit melinjo terdapat beberapa peak. Peak ini masing-masing memiliki nilai frekuensi yang akan dihubungkan dengan range frekuensi yang akan dihubungkan dengan range frekuensi pada referensi.

Tabel 4.8 Hasil FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Kulit Melinjo 300 mg/L

No.	Wavelength (cm ⁻¹)	Daerah Wavelength (cm ⁻¹)	Tipe	Gugus Fungsi
1.	3239,98	3550-3205	Ketones, C=O overtone	C=O str.
2.	1628,40	1660-1580	Alkenes conj. With C=O or C=C	C=C str.
3.	1399,20	1410-1310	Phenols. Tert, alcohols	O-H def.
4.	889,27	895-885	Geminal disubstituted alkene	C-H def.

Tabel 4.8 menunjukkan hasil pengujian FTIR dari penambahan inhibitor kulit melinjo. Ikatan pada 3239,98 cm⁻¹ dengan intensitas lemah menunjukkan senyawa ketones gugus fungsi C=O. Ikatan pada 1628,40 cm⁻¹ dengan intensitas kuat menunjukkan senyawa alkenes gugus fungsi C=C. Ikatan pada 1399,20 cm⁻¹ dengan intensitas kuat menunjukkan senyawa alkohol dan phenol gugus fungsi O-H. Ikatan pada 889,27 cm⁻¹ menunjukkan senyawa geminal disubstituted alkene gugus fungsi C-H.



Gambar 4.9 Spektrum FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Kulit Melinjo 300 mg/L

Pada gambar 4.9 terlihat bahwa terbentuk beberapa peak dari baja API 5L grade B yang konturnya hampir sama dengan peak pada inhibitor kulit melinjo. Beberapa peak yang sama tersebut menunjukkan adanya adsorpsi permukaan baja terhadap inhibitor.

Tabel 4.9 Perbandingan Hasil FTIR Baja API 5L Grade B pada Penambahan Inhibitor Kulit Melinjo

No.	Gugus Fungsi	Tipe	Daerah Wavelength (cm ⁻¹)	Inhibitor Kulit Melinjo	Baja API 5L Grade B
1.	C=O overtone	<u>Ketones</u>	3550-3205	3267,56	3239,98
2.	C=C str.	Alkenes conj. With C=O or C=C	1660-1580	1632,12	1628,40
3.	O-H def.	Alcohols and phenols	1410-1310	1394,33	1399,20
4.	C-O str.	Carbonyl compounds Anhydrides Acyclic	1175-1045	1057,63	
5.	C-H def.	<u>Geminal disubstituted alkene</u>	895-885		889,27

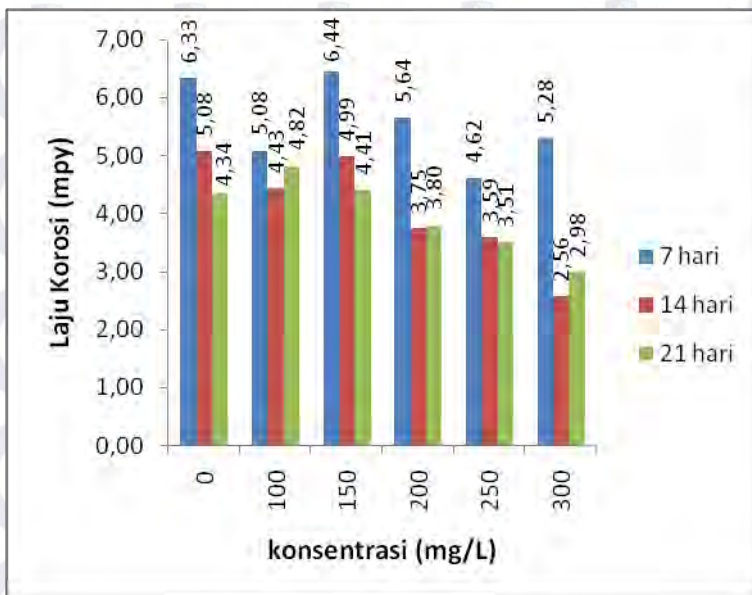


Dari tabel 4.9 diperoleh senyawa ketones, alkenes, dan alkohol phenol terdapat pada kedua spektrum, sehingga inhibitor kulit melinjo ini memungkinkan untuk menghambat laju korosi dengan cara membentuk senyawa seperti yang telah disebutkan diatas.

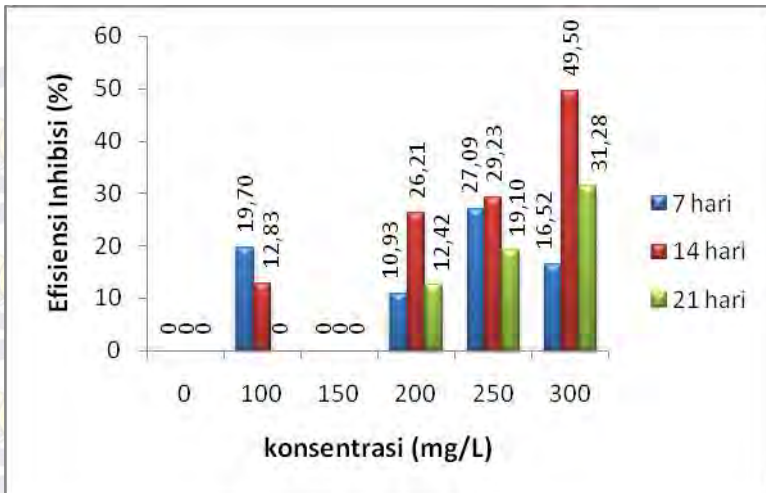
4.1.4 Hasil Pengujian *Weight Loss*

4.1.4.1 Hasil Uji *Weight Loss* terhadap Penambahan Inhibitor Daun Asam Jawa

Pada pengujian *weight loss* dengan cara menambahkan inhibitor daun asam jawa masing-masing sebanyak 0, 100, 150, 200, 250 dan 300 mg/L, maka diperoleh grafik laju korosi serta efisiensi inhibisi yang ditunjukkan pada gambar 4.10 dan 4.11.



Gambar 4.10 Grafik Laju Korosi Inhibitor Daun Asam Jawa terhadap Baja API 5L Grade B dengan Pengaruh Variasi Konsentrasi



Gambar 4.11 Grafik Efisiensi Inhibisi Inhibitor Daun Asam Jawa terhadap Baja API 5L Grade B dengan Pengaruh Variasi Konsentrasi

Pada gambar 4.10 mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor daun asam jawa terhadap laju korosi terlihat bahwa penambahan inhibitor dapat menurunkan laju korosi. Adapun pengambilan data *weight loss* yaitu pada interval waktu 7 hari.

Pada pengambilan data hari ke-7, laju korosi terendah adalah 4,61 mpy dengan konsentrasi 250 mg/L. Pada pengambilan data hari ke-14, laju korosi terendah adalah 2,56 mpy dengan konsentrasi inhibitor 300 mg/L. Sedangkan pada pengambilan data hari ke-21, laju korosi terendah adalah 2,98 mpy dengan konsentrasi 300 mg/L. Dapat disimpulkan bahwa laju korosi terendah terletak pada penambahan konsentrasi inhibitor 300 mg/L dengan lama waktu perendaman 14 hari.

Pada gambar 4.11 mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor daun asam jawa terhadap efisiensi inhibisi terlihat bahwa penambahan inhibitor ini menaikkan efisiensi inhibisi baja API 5L grade B. Pengambilan data *weight loss* dilakukan pada interval 7 hari.



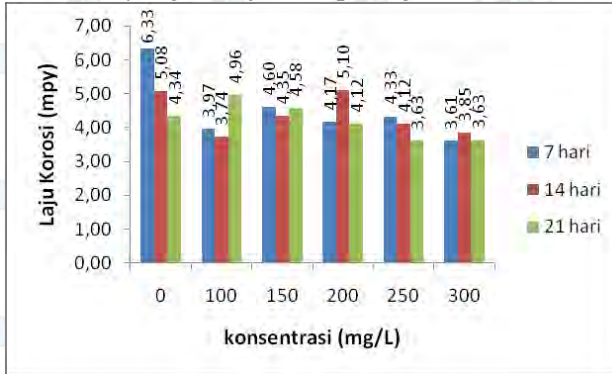
Pada pengambilan data hari ke-7, efisiensi inhibisi terbesar adalah 27,088% dengan konsentrasi 250 mg/L. Pada pengambilan data hari ke-14, efisiensi inhibisi terbesar adalah 49,499% dengan konsentrasi 300 mg/L. Sedangkan pengambilan data hari ke-21, efisiensi inhibisi terbesar adalah 31,277% dengan konsentrasi 300 mg/L. Dapat disimpulkan efisiensi inhibisi tertinggi terletak pada penambahan konsentrasi inhibitor 300 mg/L dengan lama waktu perendaman 14 hari.

Pada gambar 4.10 memperlihatkan tren penurunan laju korosi. Hal ini dapat dikarenakan sifat antioksidan yang terdapat pada inhibitor ekstrak daun asam jawa yang dapat berperan sebagai penghambat laju korosi. Pada grafik tersebut juga terlihat bahwa laju korosi selama interval 7 hari mengalami kenaikan dan penurunan dikarenakan antioksidan belum stabil dalam memproteksi spesimen. Inhibitor daun asam jawa bekerja paling efektif menurunkan laju korosi pada grafik paling rendah yaitu pada pencelupan selama 14 hari dengan konsentrasi 300 mg/L.

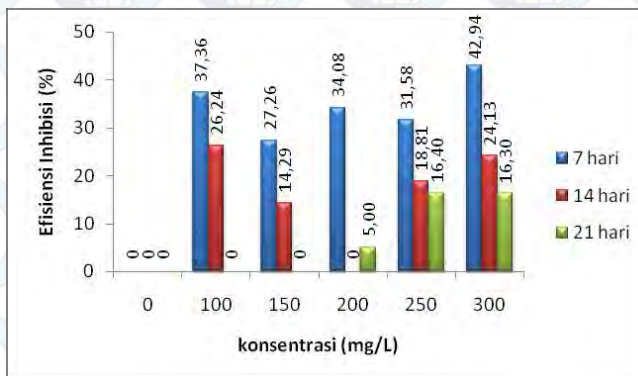
Pada gambar 4.11 terlihat bahwa efisiensi inhibisinya berangsur-angsur meningkat. Pada konsentrasi inhibitor 100 mg/L pencelupan 21 hari dan 150 mg/L pencelupan 7 hari, 14 hari dan 21 hari efisiensi inhibisi menunjukkan nilai nol, hal ini dikarenakan laju korosi pada interval konsentrasi dan pencelupan tersebut lebih besar dibandingkan dengan non inhibitor, sehingga efisiensi inhibisinya kurang dari nol. Sedangkan pada grafik pada pencelupan selama 7 hari tidaklah konstan, hal ini dikarenakan inhibitor belum bekerja secara stabil untuk memproteksi spesimen baja tersebut. Pada pencelupan selama 14 hari dan 21 hari menunjukkan grafik yang efisiensinya meningkat dikarenakan kestabilan kerja dari antioksidan ini berpengaruh terhadap penurunan laju korosi.

4.1.4.2 Hasil Uji Weight Loss terhadap Penambahan Inhibitor Kulit Melinjo

Pada pengujian weight loss dengan cara menambahkan inhibitor kulit melinjo masing-masing sebanyak 0, 100, 150, 200, 250 dan 300 mg/L, maka diperoleh grafik laju korosi serta efisiensi inhibisi yang ditunjukkan pada gambar 4.7 dan 4.8.



Gambar 4.12 Grafik Laju Korosi Inhibitor Kulit Melinjo terhadap Baja API 5L Grade B dengan Pengaruh Variasi Konsentrasi



Gambar 4.13 Grafik Efisiensi Inhibisi Inhibitor Daun Asam Jawa terhadap Baja API 5L Grade B dengan Pengaruh Variasi Konsentrasi



Pada gambar 4.12 mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor kulit melinjo terhadap laju korosi terlihat bahwa penambahan inhibitor dapat menurunkan laju korosi. Adapun pengambilan data *weight loss* yaitu pada interval waktu 7 hari.

Pada pengambilan data hari ke-7, laju korosi terendah adalah 3,61 mpy dengan konsentrasi 300 mg/L. Pada pengambilan data hari ke-14, laju korosi terendah adalah 3,74 mpy dengan konsentrasi inhibitor 100 mg/L. Sedangkan pada pengambilan data hari ke-21, laju korosi terendah adalah 3,62 mpy dengan konsentrasi 250 mg/L. Dapat disimpulkan bahwa laju korosi terendah terletak pada penambahan konsentrasi inhibitor 300 mg/L dengan lama waktu perendaman 7 hari.

Pada gambar 4.13 mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor daun asam jawa terhadap efisiensi inhibisi terlihat bahwa penambahan inhibitor ini menaikkan efisiensi inhibisi baja API 5L grade B. Pengambilan data *weight loss* dilakukan pada interval 7 hari.

Pada pengambilan data hari ke-7, efisiensi inhibisi terbesar adalah 42,944% dengan konsentrasi 300 mg/L. Pada pengambilan data hari ke-14, efisiensi inhibisi terbesar adalah 26,238% dengan konsentrasi 100 mg/L. Sedangkan pengambilan data hari ke-21, efisiensi inhibisi terbesar adalah 16,400% dengan konsentrasi 250 mg/L. Dapat disimpulkan efisiensi inhibisi tertinggi terletak pada penambahan konsentrasi inhibitor 300 mg/L dengan lama waktu perendaman 7 hari.

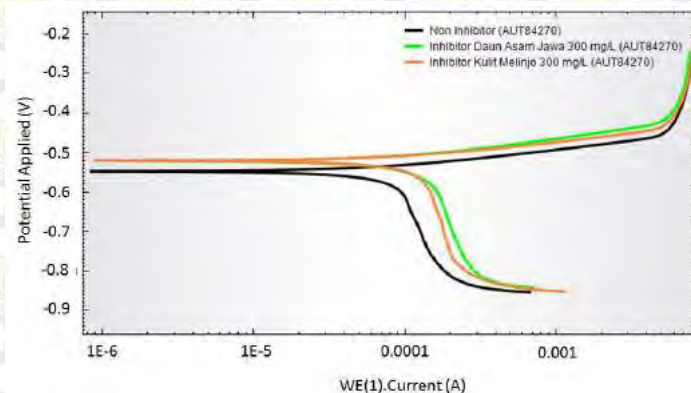
Pada gambar 4.12 memperlihatkan trend penurunan laju korosi. Pada grafik tersebut terlihat bahwa laju korosi mengalami kenaikan dan penurunan, hal ini dikarenakan efek antioksidan yang belum stabil dalam memproteksi spesimen. Namun dapat dilihat laju korosi terendah pada konsentrasi 300 mg/L dengan waktu pencelupan 7 hari.

Pada gambar 4.13 terlihat bahwa efisiensinya tidak konstan meningkat, dikarenakan pada awal pemberian inhibitor memang belum menunjukkan kestabilan efek proteksi saat itu. Pada konsentrasi inhibitor 100 mg/L pencelupan 21 hari dan 150 mg/L pencelupan 21 hari, sera konsentrasi inhibitor 200

mg/L pencelupan 14 hari, efisiensi inhibisi menunjukkan nilai nol, hal ini dikarenakan laju korosi pada interval konsentrasi dan pencelupan tersebut lebih besar dibandingkan dengan non inhibitor, sehingga efisiensi inhibisinya kurang dari nol. Hal ini dapat disebabkan oleh inhibitor yang belum bekerja dengan baik karena konsentrasi inhibitor untuk memproteksi belum terpenuhi. Kenaikan efisiensi dikarenakan kestabilan kerja dari antioksidan ini mulai berpengaruh dalam penurunan laju korosi. Efisiensi tertinggi pada grafik menunjukkan pada pencelupan selama 7 hari dengan konsentrasi 300 mg/L.

4.1.5 Hasil Pengujian Tafel

Pengujian tafel polarisasi ini dilakukan pada hasil pengujian *weight loss* pada hasil efisiensi inhibisi tertinggi dalam masing-masing inhibitor. Untuk inhibitor daun asam jawa menggunakan konsentrasi 300 mg/L dan inhibitor kulit melinjo menggunakan konsentrasi 300 mg/L. Hasil pengujian ini diperoleh kurva potensial tafel yang disajikan dalam kurva E (potensial) berbanding dengan log (i).



Gambar 4.14 Perbandingan Kurva Tafel antara Tanpa Inhibitor, Inhibitor Daun Asam Jawa 300 mg/L dan Inhibitor Kulit Melinjo 300 mg/L



Dari kurva tafel pada gambar 4.14 didapatkan hasil analisa tafel seperti pada tabel 4.10 dibawah ini.

Tabel 4.10 Tabel Analisa Tafel dengan Tanpa Inhibitor dan Penambahan Inhibitor

Konsentrasi (mg/L)	b_a (mV/dec)	B_c (mV/dec)	B (V)	E_{corr} (mV)	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	CR (mmpy)	CR (mpy)	MR (g/m^2d)
0	924,810	49,8180	0,02186	-549,650	15,5610	0,18105	7,12979	3,89088
Daun Asam Jawa 300	293,190	57,0350	0,02073	-529,040	19,1290	0,22256	8,76459	4,78302
Kulit Melinjo 300	3320,90	49,1000	0,02101	-529,950	22,6120	0,26308	10,36044	5,65391

Dari tabel 4.10 menunjukkan bahwa penambahan inhibitor daun asam jawa dan inhibitor kulit melinjo tidak dapat menurunkan laju korosi pada baja API 5L grade B. Hal ini tidak sesuai dengan data yang diperoleh pada pengujian *weight loss* yang menunjukkan kemampuan inhibitor untuk bekerja secara riil.

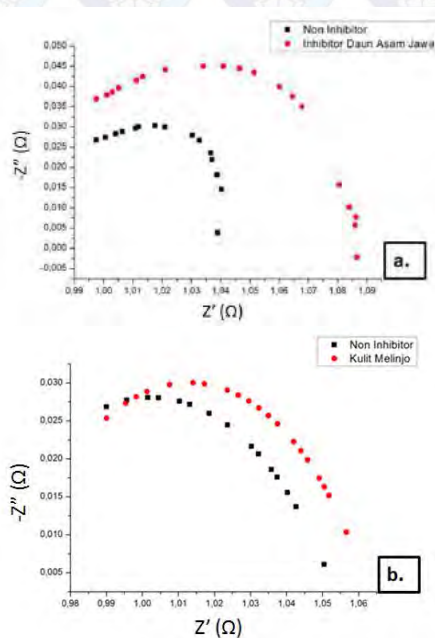
Adanya kenaikan laju korosi ini menunjukkan bahwa inhibitor daun asam jawa dan kulit melinjo belum bekerja sesaat sebelum ditambahkan kedalam sistem. Hal ini memungkinkan suatu inhibitor bekerja dengan baik dan stabil ketika diberikan waktu yang cukup untuk bekerja. Sedangkan pada uji tafel polarisasi ini merupakan hasil dan kondisi sesaat ketika inhibitor ditambahkan ke dalam larutan NaCl 3,5% pH 5.

Mekanisme kerja inhibitor dapat dianalisis dengan melihat perubahan b_a , b_c dan E_{corr} . Penambahan inhibitor daun asam jawa dan inhibitor kulit melinjo membuat nilai E_{corr} menjadi lebih positif dengan selisih sebesar 20,61 mV dan 19,7 mV.

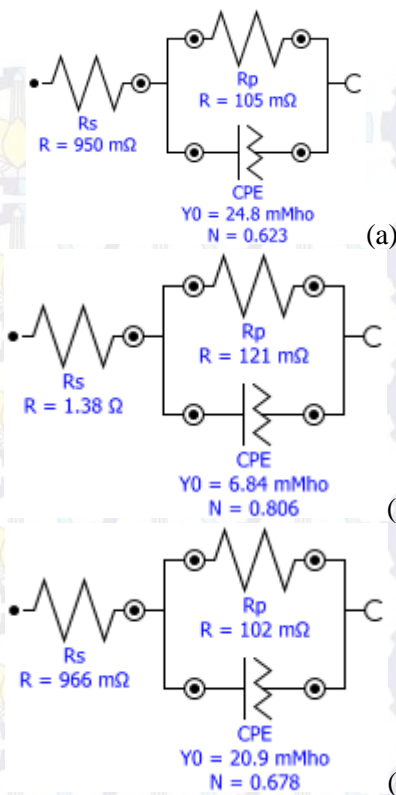
Berdasarkan kurva tafel pada gambar 4.14 menunjukkan bahwa proteksi inhibitor bekerja secara anodik dan katodik dimana hal ini disebabkan karena inhibitor reaktif terhadap logam dan lingkungannya sehingga menggeser kurva ke arah lebih positif dan negatif.

4.1.6 Hasil Pengujian EIS

Pengujian EIS ini dilakukan pada hasil pengujian *weight loss* dengan konsentrasi masing-masing inhibitor 300 mg/L dimana konsentrasi tersebut merupakan konsentrasi saat efisiensi inhibisi terbaik. Hasil tersebut akan dibandingkan dengan spesimen baja api 5L grade B non inhibitor. Berikut adalah analisa hasil uji EIS pada penambahan inhibitor daun asam jawa dan kulit melinjo serta tanpa penambahan inhibitor.



Gambar 4.15 Kurva Nyquist untuk Sampel Non Inhibitor dengan Inhibitor Daun Asam Jawa 300 mg/L (a), dan Non Inhibitor dengan Inhibitor Kulit Melinjo 300 mg/L (b)



Gambar 4.16 Model Rangkaian Sirkuit Ekuivalen untuk Sampel di lingkungan NaCl 3,5% pH 5 (a) Non Inhibitor, (b) Inhibitor Daun Asam Jawa 300 mg/L, (c) Inhibitor Kulit Melinjo 300 mg/L

Tabel 4.11 Parameter *Elektrokimia dari Fit and Simulation*

Parameter	Non Inhibitor	Inhibitor Daun Asam Jawa 300 mg/L	Inhibitor Kulit Melinjo 300 mg/L
R_s (m Ω)	950	1380	966
R_p (m Ω)	105	121	102



CPE (mMho)	24,8	6,84	20,9
CPE (N)	0,623	0,806	0,678

Hasil pengujian EIS dengan dan tanpa penambahan inhibitor dapat dilihat pada gambar 4.15. Pada gambar 4.15 dapat diketahui bahwa diameter kurva Nyquist dari penambahan inhibitor lebih besar daripada tanpa inhibitor, hal ini dikarenakan adanya transfer muatan pada surface logam. Sedangkan ion-ion yang berperan sebagai inhibitor korosi tersebut membentuk lapisan pasif untuk memproteksi permukaan logam, sehingga tahanan yang terbentuk akan semakin besar. Namun nilai R_p yang mengecil mengindikasikan perpindahan elektron yang semakin cepat dan inhibitor belum bekerja untuk menghambat korosi pada spesimen baja. Semakin cepat elektron berpindah maka tahanan akan semakin kecil dan laju korosi semakin meningkat.

4.1.7 Perhitungan Adsorpsi Isothermal

Perhitungan adsorpsi isothermal Langmuir ini digunakan untuk menjelaskan sifat adsorpsi pada kesetimbangan. Sifat adsorpsi dari masing-masing inhibitor diuji dengan menggunakan persamaan Langmuir yang telah dijelaskan pada bab 2.

Tabel 4.12 Derajat Surface Coverage pada baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Asam Jawa dan Kulit Melinjo

Konsentrasi Inhibitor (mg/L)	Efisiensi Inhibitor (%)	Derajat Surface Coverage (θ)
Inhibitor Daun Asam Jawa		
0	0	0
100	19,695	0,19695
150	0	0
200	26,213	0,26213



Konsentrasi Inhibitor (mg/L)	Efisiensi Inhibitor (%)	Derajat Surface Coverage (θ)
Inhibitor Daun Asam Jawa		
250	29,226	0,29226
300	49,499	0,49499
Inhibitor Kulit Melinjo		
0	0	0
100	37,355	0,37355
150	27,259	0,27259
200	34,079	0,34079
250	31,583	0,31583
300	42,944	0,42944

Pada tabel 4.12 menunjukkan bahwa semakin tinggi efisiensinya maka semakin naik pula derajat surface coverage. Tinggi konsentrasi inhibitor yang ditambahkan hingga batas tertentu menaikkan sejumlah molekul inhibitor yang teradsorpsi pada permukaan baja API 5L grade B.

Menurut Taleb Ibrahim (2011), nilai energi bebas adsorpsi yang lebih positif dari -20 kJ/mol mengindikasikan terjadi adsorpsi fisik pada permukaan logam. Sedangkan apabila nilainya lebih negatif dari -40 kJ/mol, proses adsorpsinya melibatkan transfer atau sharing dari molekul inhibitor kepada permukaan logam untuk membentuk ikatan koordinat. Artinya proses adsorpsi yang terjadi berjalan secara kimiawi.

Dalam menentukan tipe adsorpsi ini menggunakan persamaan Langmuir, sehingga diperoleh data pada tabel 4.13.



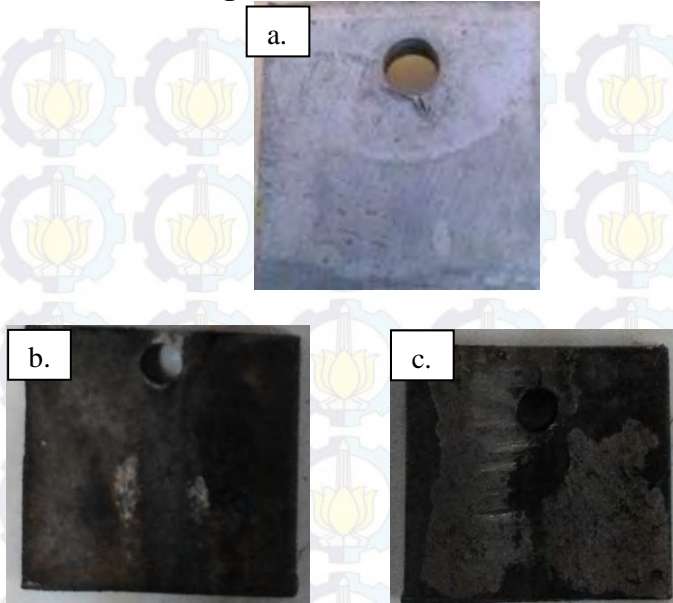
Tabel 4.13 Energi Bebas Adsorpsi pada Penambahan Inhibitor Daun Asam Jawa dan Kulit Melinjo

Konsentrasi Inhibitor (mg/L)	Derajat Surface Coverage (θ)	K_{ads}	Energi Bebas Adsorpsi (kJ/mol K)	Kriteria Tipe Adsorpsi
Inhibitor Daun Asam Jawa				
0	0	0	0	Fisisorpsi
100	0,19695	0,00245252	-4,9409085	Fisisorpsi
150	0	0	0	Fisisorpsi
200	0,26213	0,00177626	-5,74019103	Fisisorpsi
250	0,29226	0,00165179	-5,92018524	Fisisorpsi
300	0,49499	0,0032672	-4,23030584	Fisisorpsi
Inhibitor Kulit Melinjo				
0	0	0	0	Fisisorpsi
100	0,37355	0,00596297	-2,73970968	Fisisorpsi
150	0,27259	0,00249827	-4,89512164	Fisisorpsi
200	0,34079	0,00258484	-4,81072643	Fisisorpsi
250	0,31583	0,0018465	-5,64410779	Fisisorpsi
300	0,42944	0,00250888	-4,88462178	Fisisorpsi

Dari tabel 4.13 dapat disimpulkan bahwa adsorpsi yang terjadi pada permukaan baja API 5L grade B dengan penambahan inhibitor daun asam jawa dan inhibitor kulit melinjo adalah adsorpsi fisisorpsi atau secara fisik. Hal ini dikarenakan menurut teori adsorpsi isothermal, jika nilai ΔG°_{ads} yang didapatkan bernilai -20 kJ/mol atau lebih positif maka termasuk dalam fisisorpsi.



4.1.8 Hasil Pengamatan secara Visual



Gambar 4.17 Permukaan Spesimen Baja API 5L grade B
a) awal b) setelah pencelupan inhibitor daun asam jawa dengan konsentrasi 300 mg/L dan c.) setelah pencelupan inhibitor kulit melinjo dengan konsentrasi 300 mg/L

Dari hasil pengujian *weight loss* pada gambar 4.17 (a) terlihat permukaan spesimen awal baja API 5L grade B cenderung berwarna putih dan gambar 4.12 (b) dan (c) menunjukkan permukaan spesimen baja API 5L grade B setelah penambahan konsentrasi inhibitor berwarna hitam pekat. Permukaan berwarna hitam pekat ini tidak ditemukan pada spesimen awal baja API 5L grade B, sehingga diperkirakan permukaan berwarna hitam pekat ini merupakan film tipis yang terbentuk pada spesimen baja API 5L grade B karena adanya penempelan inhibitor di permukaannya.

4.2 Pembahasan

Hasil pengujian spectrometer menyatakan bahwa baja API 5L grade B merupakan *low carbon steel* karena kadar karbonnya 0,116%. Sedangkan kadar krom sebesar 0,0331% menjadikan baja jenis ini kurang baik dalam ketahanannya terhadap korosi, sehingga salah satu upaya untuk mengendalikan laju korosi adalah dengan menambahkan inhibitor organik atau *green inhibitor*. Inhibitor yang digunakan adalah ekstrak daun asam jawa (*Tamarindus Indica L.*) dan kulit melinjo (*Gnetum Gnemon*).

Hasil pengujian spektrophotometri Uv-Vis pada tabel 4.2 membuktikan bahwa inhibitor daun asam jawa dan kulit melinjo memiliki total kandungan flavonoid sebesar 0,04% dan 0,05%. Flavonoid merupakan salah satu senyawa antioksidan yang dapat memperlambat laju korosi. Sementara untuk inhibitor daun asam jawa memiliki kandungan tannin total sebesar 1,15 % (b/v) seperti yang terdapat pada tabel 4.3. Tannin dapat berfungsi sebagai zat anti korosi. Dalam senyawa tannin, terdapat gugus hidroksi yang melekat pada cincin aromatis sehingga tannin dapat membentuk kompleks khelat dengan kation besi dan logam lainnya. Senyawa tannin dapat membentuk kompleks dengan besi (II) dan besi (III). (Farida Ali, 2014)

Dari hasil uji FTIR pada tabel 4.6 menyatakan bahwa penambahan inhibitor daun asam jawa sebanyak 300 mg/L ke dalam larutan NaCl 3,5 % pH 5 membentuk senyawa tertentu pada permukaan logam. Senyawa R-COOH, bonded OH dan ketones berada pada permukaan logam, sehingga dapat dikatakan bahwa senyawa-senyawa tersebut teradsorpsi. Senyawa fenolik O-H ini terutama dapat berperan sebagai inhibitor korosi. Sedangkan hasil FTIR pada inhibitor kulit melinjo terdapat beberapa senyawa yang teradsorpsi pada permukaan logam yaitu senyawa ketones, alkenes, dan alkohol phenol seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.9. Adanya senyawa-senyawa yang teradsorpsi di permukaan logam



mengindikasikan bahwa inhibitor daun asam jawa dan inhibitor kulit melinjo bereaksi dengan logam.

Dari hasil pengujian weight loss membuktikan bahwa inhibitor daun asam jawa dan kulit melinjo ini dapat menurunkan laju korosi secara signifikan terhadap laju korosi tanpa adanya inhibitor. Pengujian weight loss ini mengindikasikan keadaan real dari proses korosivitas yang terjadi. Grafik pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi dapat dilihat pada tabel 4.10 untuk penambahan inhibitor daun asam jawa dan 4.12 untuk penambahan inhibitor kulit melinjo. Sementara grafik pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap efisiensi inhibisi dapat dilihat pada tabel 4.11 untuk penambahan daun asam jawa dan 4.13 untuk penambahan inhibitor kulit melinjo. Pada penambahan inhibitor daun asam jawa sebanyak 300 mg/L, laju korosi terendah adalah 2,56348 mpy dengan efisiensi inhibisi sebesar 49,499% dengan waktu perendaman 14 hari. Sedangkan pada penambahan inhibitor kulit melinjo sebanyak 300 mg/L, laju korosi terendah adalah 3,611523 mpy dengan efisiensi inhibisi 42,944% dengan waktu perendaman 7 hari. Sehingga dapat dikatakan bahwa inhibitor bekerja dengan baik memerlukan konsentrasi dan waktu tertentu. Dari hasil uji *weight loss* untuk masing-masing penambahan inhibitor daun asam jawa dan kulit melinjo dapat disimpulkan bahwa inhibitor daun asam jawa lebih baik daripada inhibitor kulit melinjo karena dilihat dari tren grafik inhibitor daun asam jawa yang menunjukkan kestabilan serta efisiensi inhibisi dari inhibitor daun asam jawa lebih besar daripada inhibitor kulit melinjo.

Hasil pengujian tafel polarisasi menunjukkan bahwa inhibitor daun asam jawa dan inhibitor kulit melinjo merupakan *mixed inhibitor* bila dilihat dari pergeseran nilai potensial korosinya pada tabel 4.10. Menurut Ying Yan (2008), inhibitor dapat dikategorikan anodik atau katodik jika potensial korosi bergeser lebih dari 85 mV terhadap potensial korosi tanpa inhibitor. Jadi, dapat disimpulkan bahwa inhibitor daun asam jawa dan inhibitor kulit melinjo termasuk *mixed inhibitor*



karena memiliki selisih potensial korosinya tidak melebihi 85 mV dan juga dapat dilihat dari bentuk kurva polarisasi penambahan inhibitor daun asam jawa dan inhibitor kulit melinjo pada gambar 4.14 ini terjadi pergeseran kurva ke arah anodik dan katodik. Perbedaan efisiensi dari inhibitor daun asam jawa dan inhibitor kulit melinjo terlihat sangat signifikan antara hasil uji tafel polarisasi dengan uji *weight loss*. Pengujian *weight loss* menghasilkan kondisi riil dari proses inhibisi suatu inhibitor terhadap logamnya. Sedangkan pengujian tafel polarisasi merupakan kondisi sesaat mengenai perilaku inhibisi suatu inhibitor. Pada pengujian tafel polarisasi ini dihasilkan nilai laju korosi dari penambahan masing-masing inhibitor yang lebih besar daripada non inhibitor. Logamnya sedemikian rupa tidak terproteksi atau dengan kata lain lebih terkorosi karena penambahan inhibitor. Pengaruh ini terjadi akibat inhibitor daun asam jawa dan inhibitor kulit melinjo belum mencapai kestabilan dalam memproteksi logam dikarenakan waktu yang diperlukan inhibitor untuk mencapai kondisi setimbang cukup lama.

Pada pengujian EIS diperoleh hasil tahanan polarisasi dengan adanya penambahan inhibitor daun asam jawa lebih besar, sedangkan penambahan inhibitor kulit melinjo lebih kecil seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.11. Menurut Wahyuningsih (2010), hal ini berkaitan dengan perpindahan elektron, semakin cepat elektron berpindah maka tahanan yang terbentuk akan semakin kecil dan laju korosi akan semakin tinggi. Begitu juga bila semakin lambat elektron berpindah maka tahanan yang terbentuk akan semakin besar dan laju korosinya tinggi. Jadi dapat disimpulkan bahwa tahanan polarisasi yang semakin kecil dikarenakan oleh inhibitor yang belum bekerja dengan baik untuk menghambat korosi pada spesimen baja sehingga belum terjadi pembentukan lapisan pasif pada permukaan baja. Namun hasil pengujian EIS ini tidak memberikan penjelasan mengenai mekanisme inhibisi dari masing-masing inhibitor sehingga dilakukan pendekatan perhitungan adsorpsi isothermal Langmuir terhadap mekanisme



inhibisinya. Diperoleh hasil $\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$ berada pada range -20 kJ/mol atau lebih positif, sehingga adsorpsi yang terjadi cenderung secara fisisorpsi.

Mekanisme ikatan gugus fungsi dari daun asam jawa maupun kulit melinjo terhadap baja API 5L grade B mengikuti adsorpsi secara fisik dan diilustrasikan seperti berikut ini:



Ikatan adsorpsi tersebut yang berperan dalam memproteksi permukaan logam sehingga laju korosinya cenderung menurun.

Adapun pengamatan secara visual yang dilakukan, hasilnya terdapat permukaan spesimen baja API 5L grade B setelah direndam larutan dengan inhibitor menjadi hitam pekat seperti yang ditunjukkan gambar 4.12 (b) dan (c). Pembentukan film hidrofobik ini terjadi karena bertambahnya konsentrasi molekul inhibitor dapat menggantikan molekul air yang bereaksi dengan spesimen baja, sehingga dapat menghambat laju korosi.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pengujian dan analisa yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Penambahan inhibitor daun asam jawa (*Tamarindus Indica L.*) dapat menurunkan laju korosi baja API 5L grade B dengan efisiensi maksimal sebesar 49,50% pada konsentrasi inhibitor 300 mg/L.
2. Penambahan inhibitor kulit melinjo (*Gnetum Gnemon*) dapat menurunkan laju korosi baja API 5L grade B dengan efisiensi maksimal sebesar 42,94% pada konsentrasi inhibitor 300 mg/L.
3. Mekanisme inhibisi daun asam jawa (*Tamarindus Indica L.*) dan kulit melinjo (*Gnetum Gnemon*) adalah bersifat fisisorpsi, dibuktikan dengan hasil perhitungan adsorpsi isothermal Langmuir yang berada di rentang -20 kJ/mol atau lebih positif.

5.2 Saran

1. Perlu adanya variasi temperatur dan agitasi pada pengujian selanjutnya untuk melihat kinerja inhibitor pada aplikasi yang sebenarnya.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk memperoleh titik maksimum konsentrasi inhibitor dapat bekerja.
3. Diperlukan karakterisasi lebih lanjut untuk melihat produk korosi yang terbentuk pada permukaan logam yang telah diberi inhibitor maupun yang tidak diberi inhibitor.

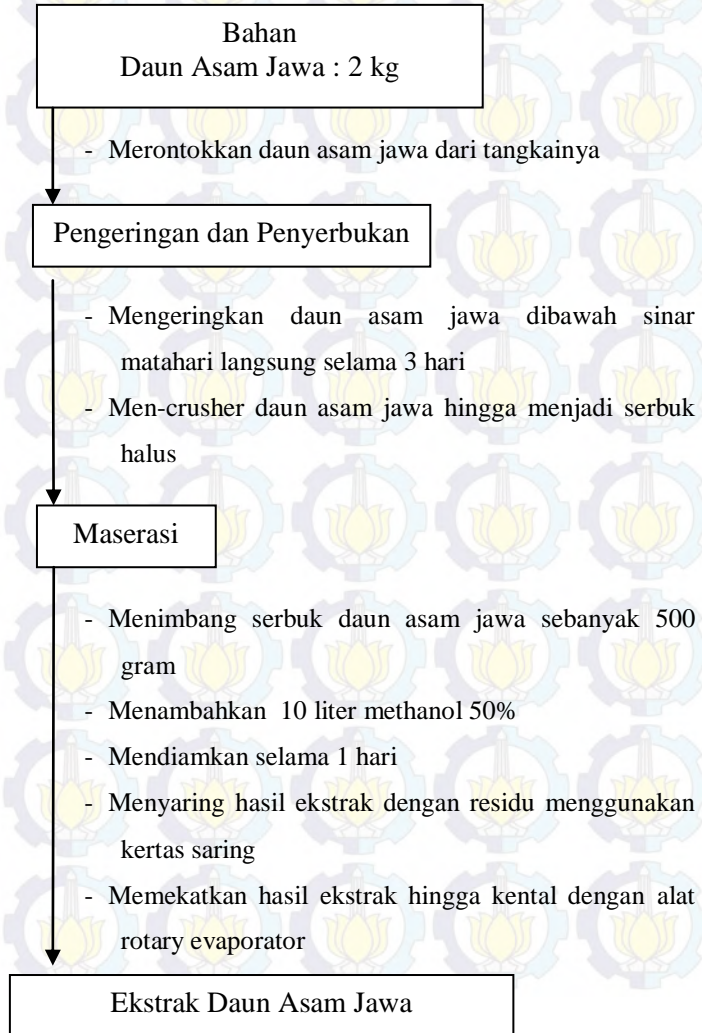


(halaman ini sengaja dikosongkan)

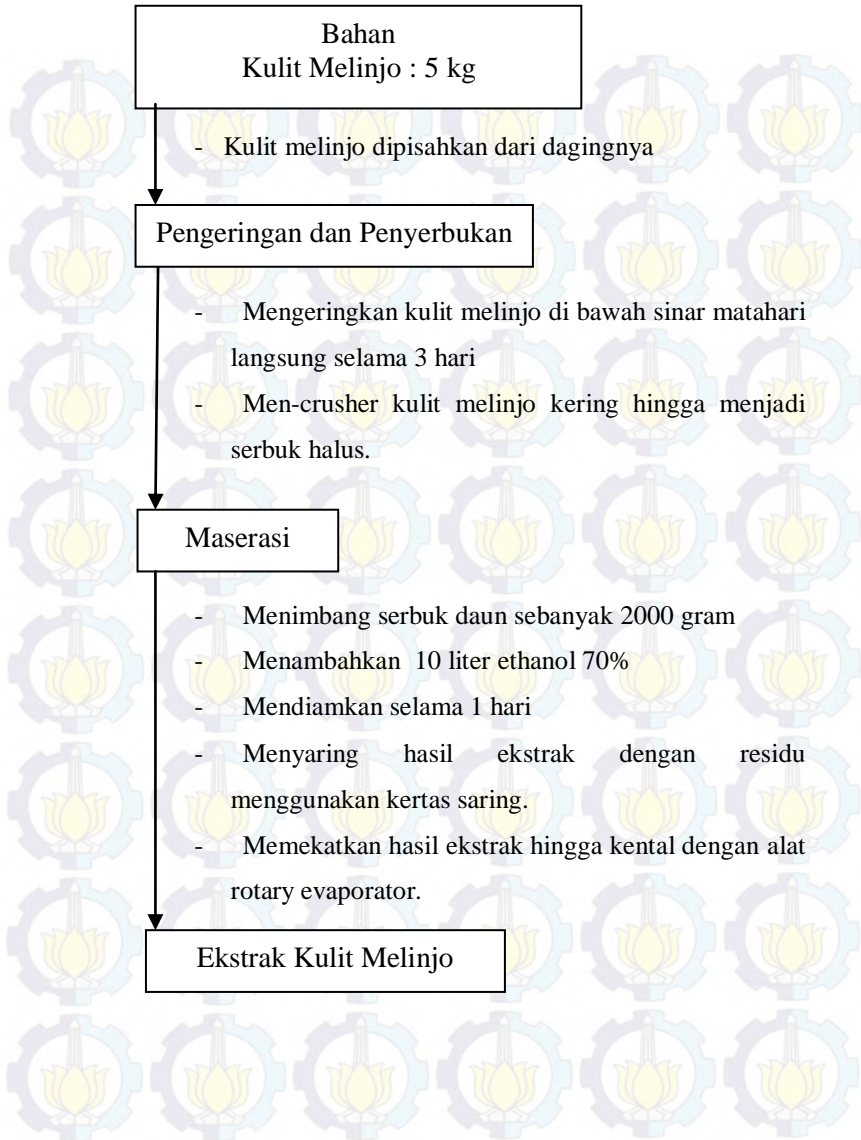
LAMPIRAN A

Skema Kerja

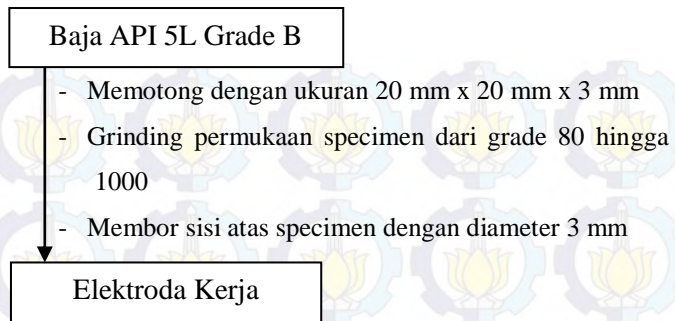
1. Pembuatan Ekstrak Inhibitor Daun Asam Jawa



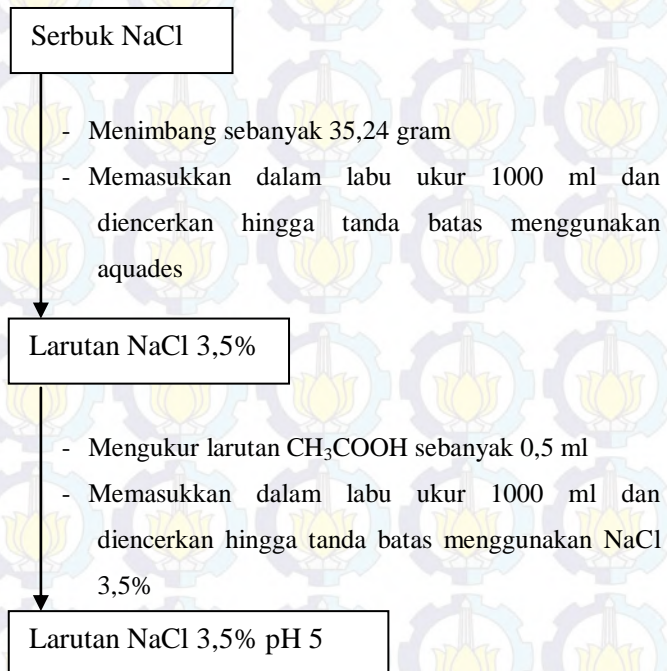
2. Pembuatan Ekstrak Inhibitor Kulit Melinjo



3. Pembuatan Elektroda Kerja



4. Pembuatan Larutan NaCl 3,5% pH 5



5. Prosedur Uji Tafel Polarisasi

Spesimen dan Larutan Elektrolit

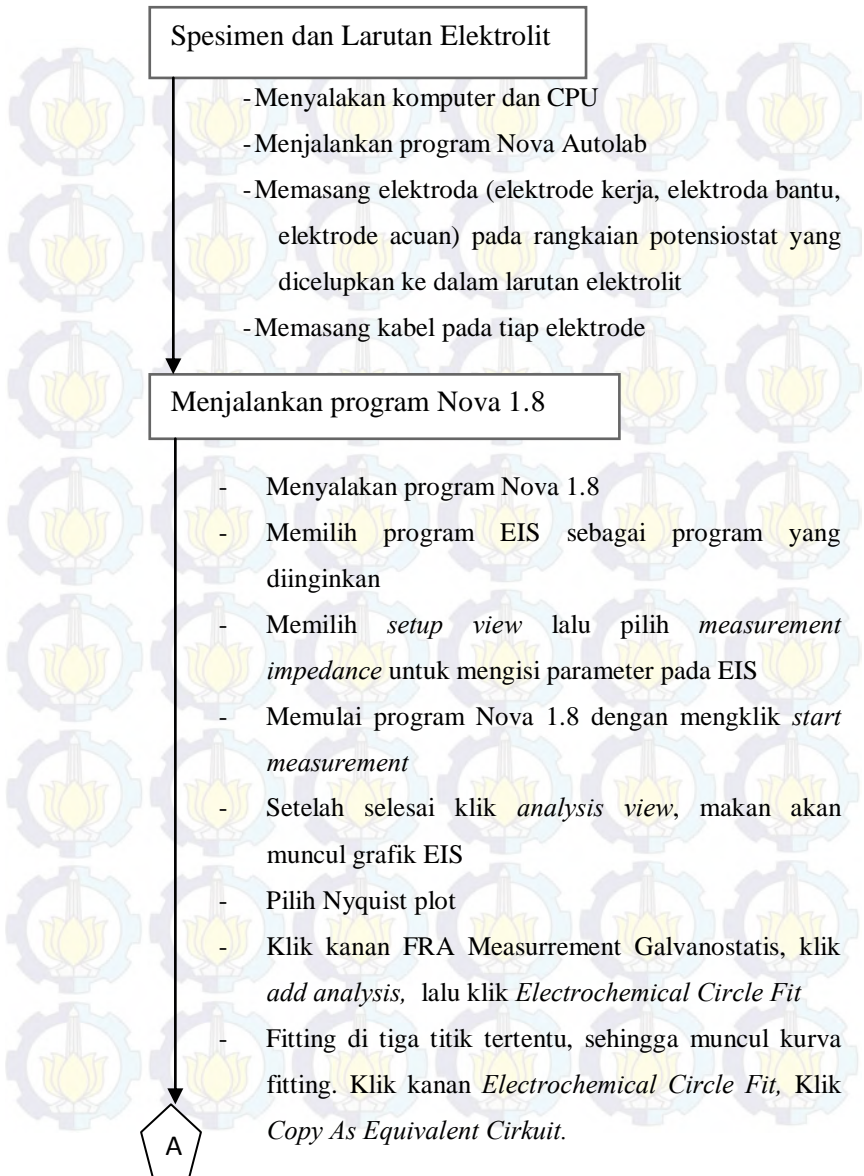
- Menyalakan komputer dan CPU
- Menjalankan program Nova Autolab
- Memasang elektroda (elektrode kerja, elektroda bantu, elektrode acuan) pada rangkaian potensiostat yang dicelupkan ke dalam larutan elektrolit
- Memasang kabel pada tiap elektrode

Menjalankan program Nova AutoLab 1.8

- Menjalankan program Nova 1.8
- Memilih program Polarisasi Linear sebagai program yang diinginkan
- Memasukkan parameter parameter pengujian yang diperlukan, seperti densitas, range pengujian dan lain lain.
- Melakukan pengujian dengan mengklik *run*
- Didapatkan kurva polarisasi
- Melakukan fitting pada kurva polarisasi untuk menentukan nilai E_{corr} , I_{corr} , Laju korosi, Beta katodik, dan beta anodik

Diperoleh data korosi yang diperlukan

6. Prosedur Uji EIS



A

- Klik kanan FRA Measurement Galvanostatis, klik *add analysis*, lalu klik *Fit and Simulation*, Klik edit, pada *blank page* klik kanan *Paste* maka akan didapatkan ekuivalen sirkuit dan parameter elektrokimia dari analisis *Electrochemical Circle Fit*
- Klik *Fit and Simulation*, lalu klik edit, dan masukkan parameter parameter elektrokimia secara manual, lalu klik *Ok*. Sehingga didapatkan ekuivalen sirkuit dan parameter elektrokimia dari analisis *Fit and Simulation*.

Equivalent circuit dan Parameter elektrokimia

LAMPIRAN B

1. Pembuatan Larutan NaCl 3,5%

Diketahui : massa pelarut = 1000 mL

Ditanya : massa NaCl yang dilarutkan ?

Jawab :

$$\rho_{campuran} = \rho_{air} + \rho_{NaCl}$$

$$= (0.965 \text{ g/mL} \times 96.5\%) + (2.165 \text{ g/mL} \times 3.5\%)$$

$$\rho = 1.007 \text{ g/mL}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \times V$$

$$m = 1.007 \text{ g/mL} \times 1000 \text{ mL}$$

$$m = 1007 \text{ gram}$$

sehingga massa NaCl yang dilarutkan adalah

$$\frac{3.5}{100} \times 1007 \text{ gr} = 35.24 \text{ gram}$$

2. Perhitungan Media Elektrolit

$$M = \frac{n}{v}$$
$$n = \frac{\text{massa zat}}{Mr}$$

CH₃COOH memiliki $\rho = 1.0549 \text{ g/cm}^3$ atau g/mL
Dengan kadar 98 % , 1 mL CH₃COOH = 1.0549 gram,
maka :

$$98\% \times 1.0549 = 1.033802 \text{ gr} = 1 \text{ mL}$$

$$n = \frac{1.033802}{60}$$

$$n = 0.017$$

$$M = \frac{0.017}{1 \text{ L}}$$

$$M = 0.017$$

untuk mencari pH = 5 pada larutan CH₃COOH dan NaCl
3,5%, maka digunakan persamaan :

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$1 \times 10^{-5} = V_2 \times 0.017$$

$$V_2 = 5 \times 10^{-4} \text{ L} = 0.5 \text{ mL}$$

3. Perhitungan Konsentrasi Inhibitor

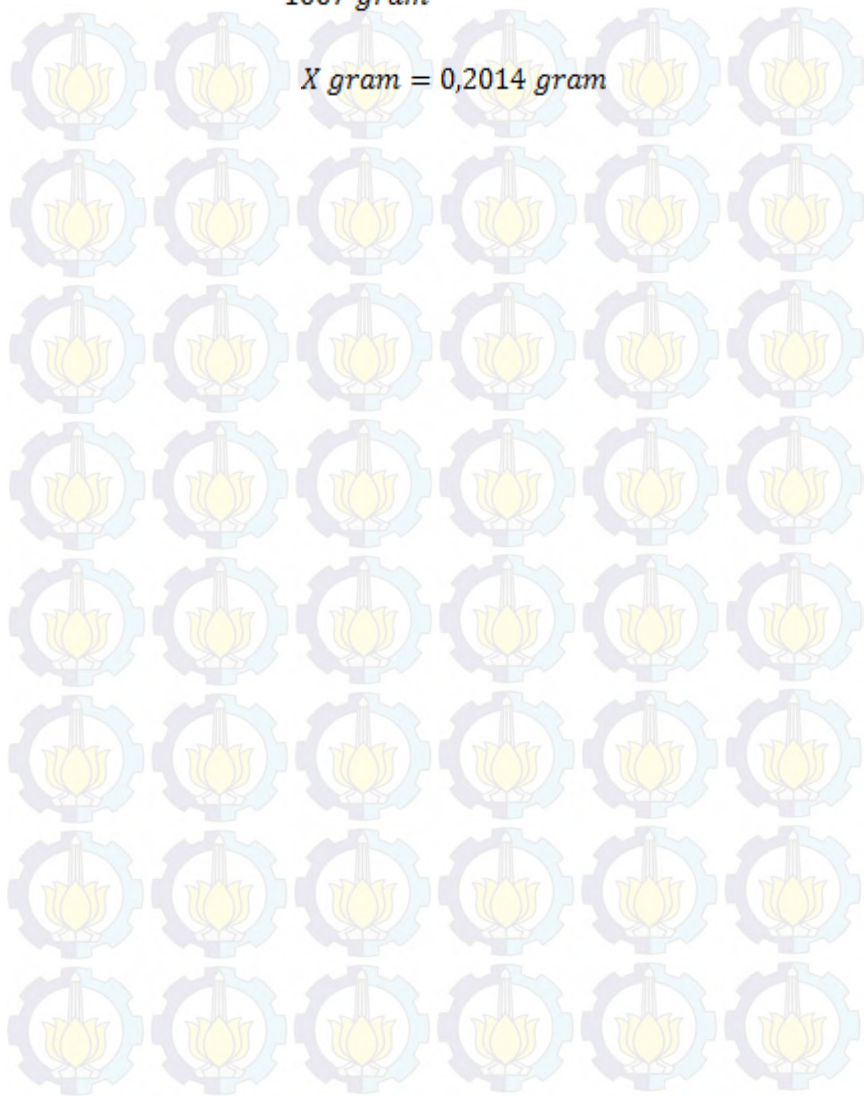
Diketahui : konsentrasi inhibitor = 200 ppm
= 200 mg/L
P larutan = 1.007 g/mL

Ditanya: massa inhibitor (ekstrak) yang ditambahkan
dalam pelarut ?

Jawab :

$$\frac{X \text{ gram}}{1007 \text{ gram}} = 200 \times 10^{-6}$$

$$X \text{ gram} = 0,2014 \text{ gram}$$



LAMPIRAN C

1. Hasil Pengujian Uv-Vis Daun Asam Jawa dan Kulit

Melinjo

a. Flavonoid Total Inhibitor Daun Asam Jawa dan Inhibitor

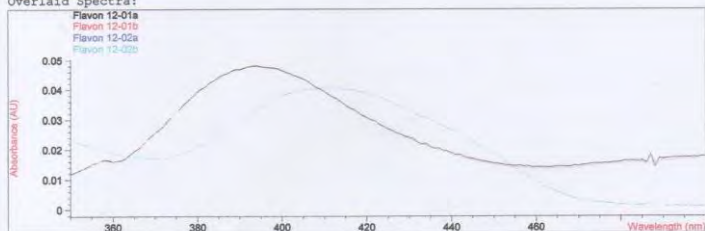
Kulit Melinjo

Fixed Wavelength Report

Date 12/3/2015 Time 09:44:01 Page 1 of 1

Method file : <untitled>
Information : Default Method
Data File : D:\DATA ANALISIS\FLAVON 12-01-02.STD Created : 12/1/15 15:08:10

Overlaid Spectra:



#	Name	Abs<415nm>	#	Name	Abs<415nm>
1	Flavon 12-01a	3.4711E-2	3	Flavon 12-02a	4.0087E-2
2	Flavon 12-01b	3.4394E-2	4	Flavon 12-02b	4.0221E-2

Report generated by : Octa

Signature:

*** End Fixed Wavelength Report ***

b. Tannin Total Inhibitor Daun Asam Jawa

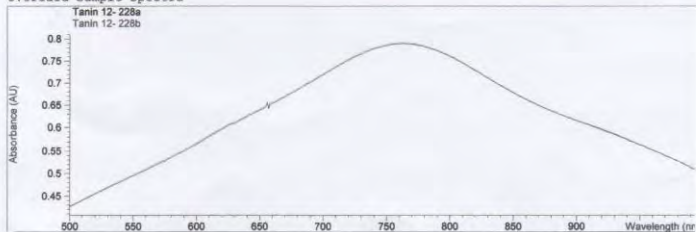
Quantification Report

Date 12/21/2015 Time 09:53:46 Page 1 of 1

Method file : <untitled>
Information : Default Method

Data File : <untitled>

Overlaid Sample Spectra



Analyte name : Concentration
Calibration equation: Conc. = 36.37900 ppm * Abs

Calibrated at : Date 12/21/2015 Time 8:41:12 AM

Operator: Yunita

#	Name	Dilut. Factor	Concentration (ppm)	Abs<770nm>
1	Tanin 12- 228a	1.00000	28.66400	0.78793
2	Tanin 12- 228b	1.00000	28.75200	0.79034

Report generated by : Yunita

Signature: *Ys*

*** End Quantification Report ***

2. Hasil Pengujian Weight Loss

a. Penambahan Inhibitor Daun Asam Jawa

7 hari

7 HARI							
KONSENTRASI (mg/L)		BERAT AWAL	BERAT AKHIR	SELISIH	LAJU KOROSI	RATA-RATA	EFISIENSI
0	1	10,7099	10,686	0,0239	6,88872	6,32985	0
	2	11,894	11,8709	0,0231	6,05747		
	3	11,1662	11,1432	0,023	6,04336		
100	1	11,1206	11,0993	0,0213	5,58546	5,08318	19,69512877
	2	11,5463	11,5278	0,0185	4,85122		
	3	11,5301	11,5109	0,0192	4,81286		
150	1	11,5204	11,5017	0,0187	4,90367	6,43770	-1,703813685
	2	11,7812	11,7553	0,0259	6,79171		
	3	11,421	11,3978	0,0232	6,08369		
200	1	11,0557	11,0338	0,0219	5,74280	5,63791	10,931487
	2	11,7821	11,761	0,0211	5,53301		
	3	11,413	11,3939	0,0191	4,78779		
250	1	11,068	11,0518	0,0162	4,45345	4,615216	27,08810098
	2	10,9139	10,8934	0,0205	5,63553		
	3	11,576	11,5584	0,0176	4,61522		
300	1	11,6532	11,6334	0,0198	5,19212	5,28390	16,52416107
	2	12,0858	12,0653	0,0205	5,37568		
	3	11,8078	11,7916	0,0162	4,24810		

14 hari

14 HARI							
KONSENTRASI (mg/L)		BERAT AWAL	BERAT AKHIR	SELISIH	LAJU KOROSI	RATA-RATA	EFISIENSI
0	1	11,0673	11,0258	0,0415	5,44123	5,07611	0
	2	11,4407	11,4009	0,0398	4,98833		
	3	11,2542	11,2176	0,0366	4,79878		
100	1	10,9764	10,939	0,0374	5,14071	4,42510	12,82501564
	2	11,5027	11,4677	0,035	4,58899		
	3	11,7047	11,6722	0,0325	4,26121		
150	1	10,8268	10,7911	0,0357	4,90704	4,98951	1,706110012
	2	10,7693	10,7324	0,0369	5,07198		
	3	11,36	11,3335	0,0265	3,64248		
200	1	11,4664	11,4372	0,0292	3,82853	3,74549	26,21337127
	2	11,3276	11,3016	0,026	3,40897		
	3	11,2201	11,1896	0,0305	3,99898		
250	1	11,7606	11,7321	0,0285	3,73675	3,59253	29,22682752
	2	11,7886	11,7602	0,0284	3,72364		
	3	10,6151	10,5898	0,0253	3,31719		
300	1	11,4977	11,4781	0,0196	2,69406	2,56348	49,49914468
	2	10,7233	10,7009	0,0224	3,07893		
	3	11,2339	11,2162	0,0177	2,43290		

21 hari

21 HARI							
KONSENTRASI (mg/L)		BERAT AWAL	BERAT AKHIR	SELISIH	LAJU KOROSI	RATA-RATA	EFISIENSI
0	1	12,168	12,1203	0,0477	3,98565	4,33722	0
	2	10,8993	10,8507	0,0486	4,45345		
	3	10,7657	10,7158	0,0499	4,57257		
100	1	10,6376	10,5849	0,0527	4,82915	4,81540	-11,02505104
	2	11,1709	11,0974	0,0735	6,42459		
	3	11,4141	11,3617	0,0524	4,80166		
150	1	11,0103	10,9617	0,0486	4,24810	4,40575	-1,580045489
	2	10,6955	10,6457	0,0498	4,56341		
	3	10,1525	10,1028	0,0497	5,01831		
200	1	10,8998	10,8547	0,0451	3,94216	3,79868	12,41668263
	2	11,618	11,5734	0,0446	3,89846		
	3	10,6683	10,6295	0,0388	3,55543		
250	1	11,4122	11,3708	0,0414	3,79368	3,50894	19,09694696
	2	10,3937	10,3581	0,0356	3,42034		
	3	11,0294	10,9915	0,0379	3,31282		
300	1	10,5237	10,4822	0,0415	3,99600	2,98066	31,27720037
	2	11,3747	11,3412	0,0335	2,92821		
	3	10,9517	10,917	0,0347	3,03311		

b. Penambahan Inhibitor Kulit Melinjo

7 hari

7 HARI							
KONSENTRASI (mg/L)		BERAT AWAL	BERAT AKHIR	SELISIH	LAJU KOROSI	RATA-RATA	EFISIENSI
0	1	10,7099	10,686	0,0239	6,88872	6,32985	0
	2	11,894	11,8709	0,0231	6,05747		
	3	11,1662	11,1432	0,023	6,04336		
100	1	12,8226	12,8092	0,0134	3,35897	3,96530	37,35558415
	2	11,6598	11,6442	0,0156	3,91045		
	3	11,4232	11,4079	0,0153	4,02015		
150	1	11,6391	11,6227	0,0164	4,52746	4,60440	27,25900903
	2	12,3935	12,3748	0,0187	4,68752		
	3	11,5779	11,5604	0,0175	4,59821		
200	1	12,2538	12,2365	0,0173	4,33659	4,17270	34,07900626
	2	11,5986	11,5831	0,0155	4,06454		
	3	10,8736	10,8579	0,0157	4,11698		
250	1	12,2412	12,2271	0,0141	3,53444	4,33069	31,58311775
	2	11,4414	11,4263	0,0151	4,15105		
	3	11,3968	11,3796	0,0172	4,51032		
300	1	12,3931	12,3778	0,0153	3,83525	3,611523	42,94459283
	2	10,8072	10,7937	0,0135	3,54008		
	3	12,2389	12,2251	0,0138	3,45924		

14 Hari

14 HARI							
KONSENTRASI (mg/L)		BERAT AWAL	BERAT AKHIR	SELISIH	LAJU KOROSI	RATA- RATA	
0	1	11,0673	11,0258	0,0415	5,44123	5,07611	0
	2	11,4407	11,4009	0,0398	4,98833		
	3	11,2542	11,2176	0,0366	4,79878		
100	1	11,0929	11,0663	0,0266	3,49464	3,74426	26,23769072
	2	11,2552	11,2259	0,0293	4,02734		
	3	11,8305	11,8001	0,0304	3,99388		
150	1	11,953	11,9195	0,0335	4,40115	4,35084	14,28788236
	2	11,5922	11,5594	0,0328	4,30054		
	3	12,4873	12,4563	0,031	3,88538		
200	1	10,5689	10,5287	0,0402	5,52557	5,09539	-0,379808314
	2	11,7292	11,6994	0,0298	3,90720		
	3	10,7119	10,6796	0,0323	4,66521		
250	1	12,441	12,4096	0,0314	4,11698	4,12134	18,80915185
	2	12,2597	12,2268	0,0329	4,12352		
	3	12,9789	12,946	0,0329	4,12352		
300	1	12,3148	12,2866	0,0282	3,53444	3,85117	24,13160779
	2	12,2159	12,1846	0,0313	3,92298		
	3	11,3818	11,352	0,0298	4,09607		

21 hari

21 HARI							
KONSENTRASI (mg/L)		BERAT AWAL	BERAT AKHIR	SELISIH	LAJU KOROSI	RATA- RATA	EFISIENSI
0	1	12,168	12,1203	0,0477	3,98565	4,33722	0
	2	10,8993	10,8507	0,0486	4,45345		
	3	10,7657	10,7158	0,0499	4,57257		
100	1	10,8746	10,8176	0,057	4,98234	4,95611	-14,26928853
	2	11,6717	11,6153	0,0564	4,92989		
	3	11,7789	11,7012	0,0777	6,79171		
150	1	11,1005	11,0566	0,0439	4,02276	4,58395	-5,688643716
	2	11,4242	11,3728	0,0514	4,71002		
	3	10,9836	10,9326	0,051	4,45788		
200	1	11,1503	11,1054	0,0449	3,92468	4,12034	5,000531031
	2	11,5967	11,555	0,0417	3,64497		
	3	11,0262	10,9791	0,0471	4,31599		
250	1	10,8834	10,8426	0,0408	3,91994	3,62591	16,40016489
	2	11,2912	11,2466	0,0446	3,89846		
	3	11,3334	11,2984	0,035	3,05933		
300	1	11,6804	11,6389	0,0415	3,62749	3,63040	16,29657054
	2	11,696	11,6521	0,0439	3,83727		
	3	11,5693	11,5301	0,0392	3,42645		

DAFTAR PUSTAKA

- Al, Alfin. 2011. *Pengaruh Inhibitor Korosi Berbasiskan Senyawa Fenolik untuk Proteksi Pipa Baja Karbon Pada Lingkungan 0,5; 1,5; 2,5; 3,5% NaCl yang Mengandung Gas CO₂*. Universitas Indonesia, Depok
- Ali, Farida. 2014. *Pengaruh Waktu Perendaman dan Konsentrasi Ekstrak Daun Jambu Biji (Psidium Guajava, Linn) sebagai Inhibitor terhadap Laju Korosi Baja SS 304 dalam Larutan Garam dan Asam*. Palembang: Universitas Sriwijaya
- API SPESIFICATION 5L. *Specification for Line Pipe, Forty-Third Edition*. 2004
- ASM Handbook. 2005. *Corrosion Materials volume 13B*. USA: ASTM International.
- ASTM Handbook. *Metals Handbook Volume 13B: Corrosion: Materials* (ASTM International, 2005)
- Autolab Application Note EC08. 2011. *Basic Overview of the Working Principle of a Potentiostat/Galvanostat (PGSTAT)-Electrochemical Cell Setup*.
- Azzis, S. N. 2012. *Deteksi Hormon Kortikosteron Dalam Sampel Urine Tikus (Rattus norvegicus) Betina Menggunakan Teknologi Fourier Transform Infrared (FTIR)*. Departemen Biologi, Universitas Indonesia.
- Callister, William D; David G. Rethwisch. 2010. *Materials Science and Engineering an Introduction Eight Edition*. USA: John Willey & Sons, Inc.
- Dalimuthe, Indra Surya. 2004. *Kimia dari Inhibitor Korosi*. Universitas Sumatera Utara
- Dariva, Camila G. Galio, Alexandre F. 2014. *Corrosion Inhibitors-Principles, Mechanisms and Applications*. INTECH
- Firmansyah, Dede. 2011. *Studi Inhibisi Korosi Baja Karbon dalam Larutan Asam 1M HCl oleh Ekstrak Duan Sirsak (Annona Muricata)*. Depok: Universitas Indonesia
- Halimatuddahlia. 2003. *Pencegahan Korosi dan Scale pada Proses Produksi Minyak Bumi*. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara

- Hayati, Elok Kamilah. 2010. *Fraksinasi dan Identifikasi Senyawa Tanin pada Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi L.)*. Jurusan Kimia Fakultas MIPA. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Hermawan, Sri, dkk. 2012. *Penentuan Efisiensi Inhibisi Korosi Baja Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Kakao (Theobroma cacao)*. Universitas Sumatera Utara
- Ibrahim, Taleb. Alayan, Hisham. Al Mowaqet, Yasmin. 2011. *The Effect of Thyme leaves Extract on Corrosion of Mild Steel in HCl*. Progress in Organic Coating 75 (2012): 456-462.
- Ismail N., Andijani and Mohammad Mobin. 2005. *Studies on the Determination of Maximum Chloride Level in Product Water Transmitted Through Pipelines A, B, and C*.
- Jack, C. Cowan., et al. 1976. *Water Formed Scale Deposit*. Gulf Publishing Company. Houston Texas.
- Jaya, H. Rini Riastuti. 2011. *Pengaruh Komposisi Kimia Terhadap Ketahanan Korosi Pada Material API 5L Grade B Seamless*. Skripsi Teknik Metalurgi Dan Material. Depok: Universitas Indonesia.
- Jones, Denny A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*. Toronto : Maxwell Macmillan Canada
- Maryati Abd. Isa, Ishak. Bialangi, Nurhayati. *Isolasi dan Identifikasi Senyawa Flavonoid dari Daun Jamblang (Syzygium cumini)*. Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Gorontalo.
- Mun'in, Abdul, dkk. 2009. *Karakterisasi Ekstrak Etanolik Daun Asam Jawa (Tamarindus Indica L.)*. Universitas Indonesia, Depok
- NACE International. 1973. *Corrosion Inhibitor*. Texas: Nathan, C. C
- Nugroho, Adhi. 2011. *Pengaruh Penambahan Inhibitor Organik Ekstrak Ubi Ungu Terhadap Laju Korosi pada Material Baja Low Carbon di Lingkungan NaCl 3,5%*. Universitas Indonesia. Depok

- Nwosu. 2014. "*Acidic Corrosion Inhibition of Piper guineense Seed Extract on Al Alloy*". America : American Journals of Material
- Perez, Nestor. 2004. *Electrochemistry and Corrosion Science*. Kluwer Academic Publisher.
- Prayogha, P. K. G. 2012. *Profil Hormon Ovari Sepanjang Siklus Estrus Tikus (Rattus norvegicus) Betina Menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR)*. Departemen Biologi. Universitas Indonesia.
- Rahim, A. A., et. Al. 2007. *Mangrove Tannins and Their Flavonoid Monomers as Alternative Steel Corrosion Inhibitors in Acidic Medium*. Corrosion Science. Vol. 49 pp. 402-417
- Rahmayeni. 2001. *Studi Interaksi antara Besi (III) dengan Tanin secara Spektrofotometri dan Titrasi Asam Basa*. Jurusan Kimia FMIPA Unand.
- Razali, Nurhanani, dkk. 2012. *Effects of Various Solvents on the Extraction of Antioxidant Phenolics from the Leaves, Seeds, Veins and Skins of Tamarindus Indica L.* Food Chemistry 131 (2012) 441-448
- Rijke E. 2005. *Trace-level Determination of Flavonoids and their Conjugates Application the Plants of the Leguminosae Family*. Amsterdam: University of Amsterdam.
- Roberge, Pierre R. 2000. *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: McGraw-Hill Book Company
- Sanyal, B., *Organic Compounds as Corrosion Inhibitors in Different Environments*. A review Progress in Organic Coatings, vol. 9, pp. 165-236, 1981.
- Sidiq, M. Fajar. 2013. *Analisa Korosi dan Pengendaliannya*. Akademi Perikanan Baruna Slawi. Journal Foundry vol. 3 No. 1 ISSN: 2087-2259
- Silverstein, R. M. Webster, F. X. Kiemle, D. J. 2005. *Spectrometric Identification of Organic Compounds 7th edition*. USA: JohnWiley & Sons.
- Socrates, George. 2001. *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies Tables and Charts 3rd edition*. New York: John Wiley & Sons.

- Standard API. 2004. *API Specification 5L, Specification for Line Pipe*. 43rd edition.
- Sunarya, A. Wahyuningsih, Y. Aisyah S. 2010. *Merenamina sebagai inhibitor korosi baja karbon dalam lingkungan sesuai kondisi pertambangan minyak bumi*. Jurusan pendidikan kimia. Universitas pendidikan Indonesia.
- Sunarya, Yayan. 2008. *Mekanisme dan Efisiensi Inhibisi Sistein pada Korosi Baja Karbon dalam Larutan Elektrolit Jenuh Karbon Dioksida*. Departemen Kimia ITB.
- Susanti, Ai. 2009. *Inhibisi Ekstrak Air dan Etanol Daun Asam Jawa dan Rimpang Kunci Pepet terhadap Lipase Pankreas secara In Vitro*. Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor.
- Trethewey and Chamberlain. 1991. *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Utomo, Budi. 2009. *Jenis Korosi dan Penanggulangannya*. Universitas Diponegoro
- Waji, Resi Agestia dan Andis Sugrani. 2009. *Makalah Kimia Organik Bahan Alam Flavonoid (Quercetin)*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
- Wulandari, Sri, dkk. 2012. *Inhibisi Xiantin Oksidae oleh Ekstrak Etanol Kulit Melinjo (Gnetum Gnemon) Relatif terhadap Allopurinol*. Universitas Negeri Malang
- Yan, Y. Li, Weihua. Cai, Lankun. Hou, Baorong. 2007. *“Electrochemical and Quantum Chemical Study of Purines as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in 1M HCl solution”*. *Electrochimica Acta* 53 (2008): 5953-5960.

BIODATA PENULIS



Hastya Anisa Rufaida adalah penulis Laporan Tugas Akhir ini. Penulis lahir di Gresik pada tanggal 24 Oktober 1994 dari orang tua Sigit Setyawan dan Happy Nugraheni sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari Play Group PT. Petrokimia Gresik (*lulus tahun 1998*), TK Dharma Wanita Kabupaten Gresik (*lulus tahun 2000*), SDN Sidokumpul 2 Gresik (*lulus tahun 2006*), SMPN 1 Gresik (*lulus tahun 2009*), SMAN 1 Gresik (*lulus tahun 2012*), dan hingga sekarang sedang menempuh masa kuliah di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyadari bahwa kebutuhan *softskill* juga perlu diasah, maka dari itu semasa kuliah penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Penulis melakukan kerja praktek di PT Badak LNG. Di perusahaan tersebut, penulis meneliti mengenai Evaluasi Sistem Proteksi Katodik di *Outfall Canall* serta Studi Kelayakan Penggunaan Anoda Grafit. Hingga akhir ini, penulis mengambil studi mengenai tugas akhir pada bidang korosi dan kegagalan material pada jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Penulis memiliki email yang dapat dihubungi yaitu hastyaanisa.rufaida@gmail.com.